



DISEÑO DE UNA TAPA DE DESCARGA PARA UN MOLINO DE BOLAS EN  
LA EMPRESA SENCO COLOMBIANA S.A.

JUAN CAMILO LOAIZA

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2009

DISEÑO DE UNA TAPA DE DESCARGA PARA UN MOLINO DE BOLAS EN  
LA EMPRESA SENCO COLOMBIANA S.A.

JUAN CAMILO LOAIZA

Trabajo de grado presentado como  
Requisito para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Asesor: FABIO ANTONIO PINEDA BOTERO

Titulo Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN

## TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	9
2 OBJETIVOS.....	12
LOS OBJETIVOS QUE SE PLANTEARÁN A CONTINUACIÓN SON METAS A CUMPLIR EN EL DESARROLLO DE ESTE PROYECTO DE GRADO .....	
12	
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2.2.1 OBJETIVO 1.....	12
2.2.2 OBJETIVO 2.....	12
2.2.3 OBJETIVO 3.....	12
2.2.4 OBJETIVO 4.....	12
3 ALCANCE .....	13
4 FUNDAMENTACIÓN DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DEL MANTENIMIENTO QUE SE APLICA EN LOS MOLINOS DE BOLAS DE LA EMPRESA SENCO COLOMBIANA S.A.....	
14	
4.1 QUE ES UN MOLINO DE BOLAS.....	14
4.1.1 TIPOS DE MOLINO DE BOLAS: .....	15
4.2 COMPONENTES DE UN MOLINO DE BOLAS .....	15
4.2.1 MOTO REDUCTOR: .....	15
4.2.2 TRANSMISIÓN POR BANDAS:.....	18
4.2.3 RECUBRIMIENTO INTERIOR DEL MOLINO.....	23
4.2.4 BOLAS DE ALÚMINA: .....	30
4.2.5 RODAMIENTOS:.....	31
4.2.6 LUBRICACIÓN: .....	32
5 LISTADO DE MANTENIMIENTO EJECUTADO .....	34
5.1 FORMATO ORDEN DE MANTENIMIENTO.....	35
6 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	37
6.1 METODOLOGÍA UTILIZADA.....	37
6.2 PLANTEAMIENTO DE LA SITUACIÓN DE DISEÑO.....	38
6.2.1 DIAGRAMA CAUSA EFECTO .....	38
6.3 FORMULACIÓN ESPECÍFICA DE LA SITUACIÓN DE DISEÑO .....	39
6.4 LISTA DE CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS .....	40



6.4.1	REQUISITOS FIJOS .....	40
6.4.2	REQUISITOS MÍNIMOS .....	40
6.4.3	DESEOS .....	40
6.5	FUNCIONES A REALIZAR .....	41
6.6	FUNCIÓN PRINCIPAL .....	42
6.7	PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN .....	43
6.8	CAJA MORFOLÓGICA .....	48
6.9	POSIBLES ALTERNATIVAS .....	52
6.9.1	EVALUACIÓN TÉCNICA ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS: .....	54
6.10	DISEÑO MÁS ÓPTIMO FOTOGRAFÍA .....	56
7	CÁLCULOS .....	57
7.1	ANÁLISIS ESTÁTICO .....	59
7.2	ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN Y ESFUERZOS .....	59
7.3	CALCULO DEL TORNILLO QUE EJERCE LA PRESIÓN DE CIERRE .....	62
7.3.1	ANÁLISIS DE CARGA CRÍTICA .....	63
7.3.2	ANÁLISIS DE FALLA POR CORTANTE: .....	66
8	PROCEDIMIENTO DE CARGUE Y DESCARGUE DEL MOLINO DE BOLAS .....	67
8.1.1	POSIBLES INCONVENIENTES AL CARGAR: .....	68
8.1.2	POSIBLES INCONVENIENTES AL DESCARGAR: .....	68
8.2	PROPUESTA DE CARGA Y DESCARGA DEL NUEVO DISEÑO. ....	68
8.3	PASOS A SEGUIR PARA LA CARGA O DESCARGA DEL MOLINO .....	69
8.3.1	PRIMERO .....	69
8.3.2	SEGUNDO .....	69
8.3.3	TERCERO: .....	70
8.3.4	CUARTO: .....	70
8.3.5	QUINTO: .....	70
8.3.6	SEXTO: .....	70
9	CONCLUSIONES .....	72
10	GLOSARIO .....	73
11	BIBLIOGRAFÍA .....	74
12	ANEXOS .....	76

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Perfil de propiedades del caucho natural.	?
Tabla 2 Características caucho natural	?
Tabla 3 Control de tiempos	?
Tabla 4 Costo de mantenimiento	?
Tabla 5 Propiedades del material [SW] AISI 1020	?

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Inspección y mantenimiento reductor SK 52.	2
Ilustración 2	Averías en el engranaje.	2
Ilustración 3	Sección transversal de potencia.	2
Ilustración 4	Sección transversal de bandas.	2
Ilustración 5	Transporte interior	2
Ilustración 6	Tipos de recubrimiento interior	2
Ilustración 7	Caucho interior	2
Ilustración 8	Recubrimiento interior	2
Ilustración 9	Sistema placa y resalto.	2
Ilustración 10	Composición bolas de alúmina.	2
Ilustración 11	Interior molino de bolas	2
Ilustración 12	Rodamiento de rodillos.	2
Ilustración 13	Propiedades grasa EP2	2
Ilustración 14	Características típicas grasa EP2	2
Ilustración 15	Orden de mantenimiento	2
Ilustración 16	Diagrama espina de pescado	2
Ilustración 17	Molino de bolas Senco Colombiana S.A.	2
Ilustración 18	Estructura funcional	2
Ilustración 19	Caja negra	2
Ilustración 20	Tapa # 1	2
Ilustración 21	Tapa # 2	2
Ilustración 22	Tapa # 3 clamps	2
Ilustración 23	Tapa # 4 alta presión	2
Ilustración 24	Tapa # 5 Handhole alta presión.	2
Ilustración 25	Caja morfológica energía mecánica	2
Ilustración 26	Caja morfológica despresurizar	2
Ilustración 27	Caja morfológica descarga	2
Ilustración 28	Caja morfológica hacer la carga	2
Ilustración 29	Caja morfológica sistema presión del sello	2
Ilustración 30	Caja morfológica sistemas de sello	2
Ilustración 31	Evaluación.	2
Ilustración 32	Ruta de alternativas.	2
Ilustración 33	Diseño tapa molino de bolas.	2
Ilustración 34	Distribución de cargas en araña.	2
Ilustración 35	Condición de empotramiento base superior.	2
Ilustración 36	Límite de fluencia.	2
Ilustración 37	deformación araña [mm].	2
Ilustración 38	Base y unión al molino	2
Ilustración 39	Análisis de desplazamiento estático.	2
Ilustración 40	Análisis límite de fluencia.	2
Ilustración 41	Tornillo prensa.	2
Ilustración 42	Tapa molino Senco colombiana S.A.	2

Ilustración 43 Ubicación de tapas en el molino.  ?

Ilustración 44 Ubicación cuña caucho natural.  ?

Ilustración 45 Ubicación nuevo sistema de descarga.  ?

## 1 INTRODUCCIÓN.

La empresa Senco Colombiana S.A. es una compañía relativamente joven en el mercado de la porcelana sanitaria, la empresa en el año de 1994 decide diversificar su portafolio y se dedica a la fabricación de productos cerámicos, tales como: sanitarios, lava manos y plafones.

La gran facultad que tiene la planta de cambiar sus líneas de producción dio paso a diversos diseños de elementos como el chip abrasivo, y desarrollo de nuevos productos como el estoperol cerámico, el cual está enfocado a la industria de la construcción vial en Colombia y a nivel internacional. Senco colombiana S.A. tiene un gran mercado enfocado en la exportación de sus productos hacia diversos países de Suramérica, es el caso de Costa Rica, Panamá, Jamaica y diferentes zonas del Caribe.

Senco Colombiana S.A. está basando sus esfuerzos en la producción de elementos de alta calidad a bajos costos con el fin de competir en el mercado colombiano, es por esto que está haciendo buenas inversiones en el mejoramiento de su maquinaria, y el de sus productos.

La importancia inicial relacionada directamente con la empresa donde se realizará el proyecto es la necesidad de mejorar los tiempos muertos en los molinos de bolas incrementando la productividad de los mismos y disminuyendo horas extras en el proceso, mermando la carga laboral dentro del taller de mantenimiento con el fin de incrementar la confiabilidad del proceso de molienda de metería prima.

El punto de partida de este proyecto se basa en el área de preparación pasta, básicamente en los molinos de bolas donde la productividad se ha incrementado constantemente, en primera instancia con el diseño de una banda transportadora que entrega la materia prima en los molinos de bolas, agilizando así el cargue de los mismos.

En segunda instancia se debe tener en cuenta los registros del plan de mantenimiento que muestran fallas reiteradas en el sistema de descarga de los molinos de bolas, debido a la constante fricción que tiene el sistema actual, que está compuesto de un tapón y niple de tres pulgadas para la descarga y uno de ocho pulgadas para cargar el mismo, la constante fricción que hay dentro del molino hace que el sistema se presurice en su interior apretando fuertemente los tapones en las roscas de los niples. Al momento de la descarga el tapón se aprieta tanto que tiende a desgarrar las roscas del niple provocando una falla por desgaste o maltrato del sistema.

Esta falla se presenta según los registros cada 1.5 o dos meses según el trabajo requerido en el lapso de tiempo, esta falla implica un día de paro, cabe notar que la planta cuenta con tres molinos con el mismo sistema de carga y descarga.

El sistema de carga y descarga existente muestra grandes ineficiencias, es por esta razón que se plantea el diseño de una compuerta que sirva como sistema de carga y descarga en los molinos de bolas, mejorando la eficiencia en los molinos de bolas y evitando paros no programados en producción y la maquinaria.

El mantenimiento basado en la mejora constante de un equipo es la mejor opción, para poder incrementar la productividad del molino y generar confiabilidad en el taller de mantenimiento, la disminución de los costos de producción se verá reflejada de manera eficaz pues las horas extras se disminuirán y los costos de mantenimiento disminuirá reinvertiendo estos recursos hacia la mejora de equipos.

En la industria cerámica el trabajo realizado por el equipo de mantenimiento es muy importante pues mantiene los equipos en óptimo estado enfocando el mantenimiento en acciones preventivas y en algunos casos muy especiales en acciones predictivas, debido a la periodicidad de las fallas se puede buscar una mejora en el equipo.

El Ingeniero Mecánico es el llamado a diseñar las rutinas de mantenimiento con la aplicación de técnicas correctivas, preventivas, predictivas y de mejora, en esta aplicación de técnicas el uso de herramientas de análisis predictivo mediante procesos no destructivos que permiten chequear los sistemas y sus partes. La mayoría de ocasiones en caliente sin necesidad de paradas en los equipos.

El estudiante tendrá la oportunidad de implementar los conocimientos adquiridos en la universidad diseñando un sistema versátil de descarga en los molinos de bolas que agilizará la producción de la planta e incrementará la confiabilidad de los sistemas de descarga.

## 2 OBJETIVOS

Los objetivos que se plantearán a continuación son metas a cumplir en el desarrollo de este proyecto de grado

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

?

Diseñar una tapa que realice un sello óptimo en el molino de bolas de la empresa Senco Colombiana S.A. la cual debe servir como sistema de cargue y descargue de materia prima.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

?

#### 2.2.1 Objetivo 1

Fundamentar los conceptos básicos de mantenimiento que se aplican en los molinos de bolas de la empresa Senco Colombiana S.A.

#### 2.2.2 Objetivo 2

Reconocer el funcionamiento básico de un molino de bolas identificado los elementos que lo componen y sus funciones.

#### 2.2.3 Objetivo 3

Diseñar una compuerta que sirva para el cargue y descargue de materia prima del molino de bolas.

#### 2.2.4 Objetivo 4

Generar un procedimiento de cargue y descargue que proteja el molino de bolas y al personal encargado de la máquina.



### 3 ALCANCE

Con este proyecto básicamente se busca realizar una mejora en el diseño de los molinos de bolas que hay en la empresa, debido a las constantes quejas que han tenido los trabajadores pues el sistema actual es ineficiente.

En el tiempo que se realizará el estudio se buscará dejar el proyecto lo más adelantado posible para realizar el proceso de construcción, y venderle la idea al comité de la empresa para que aprueben la propuesta con el fin de mejorar el molino de bolas y mejorar la situación de los empleados de la planta.

Con la mejora también se buscará la disminución de los tiempos muertos del molino de bolas, disminuyendo los paros no programados en el sistema de mantenimiento.

Con este proyecto no se busca la disminución de la mano de obra, solo se diseñará una mejora en la maquinaria de la empresa que busca eliminar la constante carga que las fallas reiteradas generan en el taller de mantenimiento, pues los constante paros son muy prolongados y no permiten tener una constancia dentro del campo de producción.

- Entrega de planos a la empresa del desarrollo obtenido
- Entrega de un manual para la implementación del nuevo sistema
- Estudio de los sistemas de descarga utilizados en los molinos de bolas

## 4 FUNDAMENTACIÓN DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DEL MANTENIMIENTO QUE SE APLICA EN LOS MOLINOS DE BOLAS DE LA EMPRESA SENCO COLOMBIANA S.A.

En el presente capítulo se expondrán los diferentes componentes que conforman un molino de bolas, es importante tener en cuenta que un molino de bolas no es una máquina muy compleja, pero si tiene suficientes partes que según su estado pueden hacer un proceso de producción eficiente.

### 4.1 QUE ES UN MOLINO DE BOLAS.

“Un molino de bolas Consiste en un cilindro que gira alrededor de su propio eje, revestido interiormente de un material duro, dentro de los cuales hay unos elementos molturantes esféricos (a veces son cilindros regulares, es decir, de altura igual al diámetro, que se redondean a medida que se desgastan), de sílice, de alúmina o de porcelana, de modo que las partículas procedentes del desgaste no contaminen la composición a moler, como ocurriría si fuera acero. La molienda sobreviene por dos causas: por percusión, las esferas al rotar se despegan de la carcasa y caen sobre el material: y por rozamiento y abrasión entre las bolas. Con cargas pequeñas es mayor el efecto de la percusión y el rozamiento para cargas mayores. Para materiales duros es conveniente que prevalezca el efecto de percusión y para materiales friables el de abrasión.

Para que las bolas efectúen el trabajo descrito y se desprendan del cuerpo del molino, al que se adhieren por fuerza centrífuga, existe una velocidad límite, definida por la relación entre peso de la bola y fuerza centrífuga.

Para cada diámetro del molino existe un cierto número de revoluciones que no debe sobrepasar para que se produzca el desprendimiento de las bolas de la envuelta, y por tanto, la molienda.

#### 4.1.1 Tipos de molino de bolas:

Alsing, discontinuo, es un cilindro hueco horizontal, provisto de una tapa, que transmite una carga, se concede un determinado tiempo de molienda, transcurrido el cual se descarga el molino, adecuados para molienda vía húmeda que es realizada en mezclas con un elemento líquido.

Tipo continuo preferible para molienda tipo semi-seca está formado por un cilindro hueco inclinado que permanentemente se alimenta por el lado más alto y se descarga por el punto más bajo, la inclinación y la rotación motivan un desplazamiento helicoidal de la carga.” (Güeto, 2005 pag 244)

## 4.2 COMPONENTES DE UN MOLINO DE BOLAS

Los molinos de bolas son máquinas que no varían mucho en sus elementos de fabricación es por esto que con la descripción que realiza se dará a conocer la mayoría de partes que componen un molino de bolas con el fin de dar a entender el funcionamiento de los mismos.

#### 4.2.1 Moto reductor:

En la industria cerámica es común tener un motor reductor como elemento transmisor de potencia del molino de bolas, el cual tiene como transmisión bandas de potencia, aunque también hay molinos de bolas que tienen su entrada de potencia con engranajes que están conectados directamente en el diámetro exterior del molino.

En el caso específico de la empresa se utiliza un reductor referencia Nord SK 52 de 18 hp, este sistema es utilizado pues es muy fácil de instalar, fuera de esto el mantenimiento del sistema de potencia es muy versátil y se puede hacer con el personal de la empresa. En caso de falla inminente hay empresas en Medellín que se dedican a la reparación de dichos equipos, la lubricación se hace con aceite ISO 220 y para verificar que la lubricación del molino esté en buenas condiciones se revisa su nivel cada tres meses.

Ilustración 1 Inspección y mantenimiento reductor SK 52.

Intervalos de inspección y mantenimiento	Trabajos de inspección y mantenimiento	Información consultar capítulo
Una vez por semana o cada 100 horas de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprobar visualmente que no haya escapes.</li> <li>– Comprobar que no haya ruidos o vibraciones extrañas en la transmisión.</li> <li>– Para la transmisión con tapa de refrigeración: Inspección visual de la etiqueta adhesiva de temperatura</li> </ul>	5.2 5.2 5.2
Cada 2500 horas de trabajo, como mínimo cada 6 meses.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprobar el nivel de aceite.</li> <li>– Control visual de las gomas.</li> <li>– Inspección visual de los latiguillos</li> <li>– Control visual de los adhesivos de temperatura.</li> <li>– Quitar el polvo (solo en categoría 2D).</li> <li>– Comprobar el acoplamiento (solo en categoría 2G y normativa de construcción de motores IEC/NEMA).</li> <li>– Engrasar (solo en ejes de transmisión libres / Opción W y almacenamiento de agitadores / Opción VLII / VLIII)</li> </ul>	4.1 5.2 5.2 5.2 / 4.3 5.2 5.2 5.2
cada 5000 horas de trabajo, al menos anualmente (sólo en motor de dimensiones normalizadas montado según IEC/NEMA)	– sustitución del lubricador automático	5.2 / 4.2
cada 10000 horas de trabajo al menos cada 2 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>– cambio de aceite</li> <li>– Verificar el serpentín de refrigeración por contaminación</li> </ul>	5.2 5.2
intervalo según especificación de la placa indicadora MI = horas de trabajo, al menos cada 10 años (sólo en categoría 2G y 2D)	– revisión general	5.2

(NORD, 2004, pag 25)

La ilustración 1 muestra el mantenimientos que se deben realizar a este tipo de reductores el siguiente mantenimiento es propuesto por el fabricante y distribuidor de los mismos.

## Ilustración 2 Averías en el engranaje.

Avería	posible causa	Reparación
ruidos extraños, oscilaciones	muy poco aceite o daños en los cojinetes o en el engranaje	Consultar al servicio de atención de NORD
Fugas de aceite del reductor o del motor	Junta dañada	Consultar al servicio de atención de NORD
Fuga de aceite por el tapón de venteo	Nivel de aceite erróneo o aceite equivocado, sucio o niveles de servicio incorrectos	Cambio de aceite, utilice depósitos de compensación de aceite (Opción OA)
El reductor está demasiado caliente	posición de montaje inapropiada o avería en el reductor	Consultar al servicio de atención de NORD
Oscilación en la conexión, vibraciones	Acoplamiento del motor averiado o fijación del reductor floja o elementos de goma defectuosos	Sustituir la corona dentada de elastómero, apretar los tornillos de fijación del reductor y del motor, sustituir los elementos de goma
El eje de salida no gira mientras que el motor sí lo hace	Rotura en el engranaje o el acoplamiento del motor está averiado o el disco de contracción resbala	Consultar al servicio de atención de NORD

(NORD, 2004 pág. 43)

En la ilustración 2 se indican las diferentes averías que pueden suceder en el reductor y las posibles soluciones o elementos a verificar.

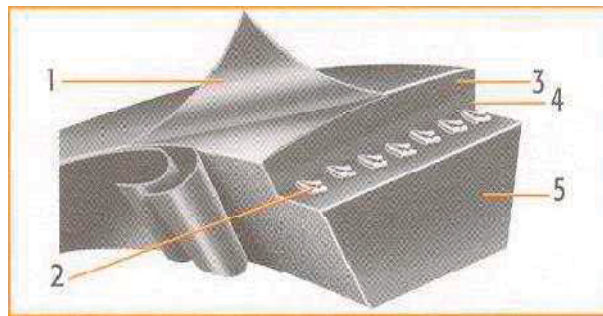
#### 4.2.2 Transmisión por bandas:

La entrada de potencia en el molino de bolas se hace por medio de un motor reductor de 18 hp, pero el ajuste de la velocidad angular y la transmisión de potencia se hace por medio de cuatro bandas referencia C 106 las cuales amortiguan el constante golpe del molino que tiende a sobrecalentar los motores cuando hay una transmisión directa, es por esto que la transmisión con bandas es más efectiva pues protege el sistema de sobrecargas mecánicas que pueden dañar la piñonería interior del reductor.

##### 4.2.2.1 Composición de una banda:

Una banda es un elemento flexible de transmisión de potencia que asienta firmemente en un conjunto de poleas acanaladas.

Ilustración 3 Sección transversal de potencia.



(Rexon Canadian Premium Gold, 2004)

1. Sobre.
2. El elemento Tensor.
3. Elemento de Compresión.
4. Elemento Aislante.
5. Goma de Tensión.

Sobre: tela de algodón especial impregnada con goma también especial, para darle resistencia frente al desgaste; responsable también por la protección de todos los componentes de la correa.

**Elemento Tensor:** Se conoce también como cordoncillo, compuestos de hilos de fibra sintética (poliéster) que garantiza la transmisión integral de la fuerza, con índice mínimo de alargamiento y alta resistencia al desgaste.

**Elemento de Comprensión:** compuesto preparado para resistir al desgaste ocasionado por la comprensión y también para disipar el calor provocado por el sistema, proporcionándole a la correa la prolongación de su vida útil.

**Elemento Aislante:** Compuesto especial usado para mantener el elemento tensor ensamblado al cuerpo de la correa, para evitar la fricción de los componentes.

**Goma de Tensión:** Material compuesto por una goma especial, encargada de disminuir los efectos de probables impactos en la correa y también de proporcionarle más flexibilidad al sistema y mejor ajuste entre correa y polea (Rexon Canadian Premium Gold, 2004)

#### 4.2.2.2 Precaución en la instalación de una banda:

En los siguientes párrafos se quiere dar a conocer las diferentes precauciones que se deben tener al momento de instalar una banda de transmisión de potencia con el fin de corregir las malas prácticas al interior de la empresa Senco Colombiana S.A.

**A.** Verifique cuidadosamente el estado de los canales de las poleas; si presentan un desgaste excesivo, las poleas deben ser cambiadas, pues pueden reducir la vida útil de la correa. La correa tiene la tendencia de ubicarse en el fondo de los canales de las poleas; si las paredes de los canales de las poleas están desgastadas, desgastarán los bordes inferiores de la correa y ocasionarán fallas en la transmisión. Las poleas no deben estar abolladas, oxidadas, o porosas.

**B.** Si las paredes laterales de las poleas tienen las mismas dimensiones, se puede verificar su alineación, con una regla como patrón, es suficiente apoyarla en los cuatro puntos de las poleas, para garantizar una alineación ideal.

**C.** De acuerdo a lo descrito anteriormente, verificar el perfil de las correas con los canales de las poleas. Para poleas con canales “A” existe la obligatoriedad de utilizar correa con el perfil “A”, y así sucesivamente.

**D.** Al colocar las correas en las poleas, nunca se debe forzar la correa ruptura del sobre y los cordoncillos.

**E.** En general, la tensión de la correa debe ser la menor posible, con tal de que permita que la correa trabaje sin deslizarse, teniendo en cuenta los picos de carga. Durante las primeras 48 horas de trabajo, hay que observar la tensión con frecuencia; después de ese periodo, cuando haya Deslizamiento se regula nuevamente la tensión de la correa. Si la tensión es excesiva, perjudica la vida útil de la correa, así como todo el sistema de transmisión.

**F.** Verifique el estado general de los rodamientos y la lubricación del sistema de transmisión. Si es necesario, cámbielos antes de instalar la correa nueva.

**G.** Deje espacio suficiente para el libre funcionamiento de la correa; espacios muy pequeños o excesivamente cerrados pueden ocasionar el súper calentamiento del sistema, disminuyendo la vida útil de la correa. Si fuera necesario instale ventilación artificial para el sistema.

(Rexon Canadian Premium Gold, 2004)



#### 4.2.2.3 Manutención:

Aunque las bandas son elementos que transmiten potencia y fuera de esto son elementos de desgaste, no se debe creer que no tienen precauciones de uso, por el simple hecho de que se puedan cambiar de una manera rápida y sencilla, a continuación algunas precauciones que se deben tener en sistemas de transmisión de potencia que funcionen con bandas.

**H.** Una eventualidad perjudicial, que ocurre especialmente en equipamientos más antiguos, son las pérdidas de líquidos, ya sean grasas o aceites. Hay que eliminar lo más rápido posible esas pérdidas, para evitar deslizamientos en el sistema.

**I.** La falta de lubricación en los rodamientos, también puede perjudicar el sistema de transmisión, ocasionando el deslizamiento de la correa y el consecuente súper calentamiento, que la dañificara gravemente.

**J.** Observar siempre si el sistema de protección de las correas (capas o mallas) está limpio o intacto, debe evitarse que se adhiera a las correas, lo que provocaría sobrecalentamiento por roce.

**K.** Nunca pinte la correa, ni utilice jamás ningún tipo de líquido para limpiarla o protegerla; utilícela tal como el fabricante se la envió.

**L.** Las correas se producen por procesos especiales y trabajan sin ningún deterioro hasta la temperatura de 70 °C; temperaturas superiores a 70 °C, si fuese necesario, disminuirá considerablemente la vida útil de las correas y exigen inspecciones frecuentes en el sistema de transmisión.

**M.** Se debe verificar periódicamente la alineación de las poleas y la tensión de la correa, para evitar las vibraciones laterales de la correa, que disminuyen excesivamente su vida útil.

**N.** Cualquier modificación en el equipamiento, debe ser precedida por un nuevo cálculo para el sistema de transmisión de potencia, lo que evita sobrecarga en la correa; la simple inclusión de carga en el equipamiento, sin el cálculo previo, ocasionará sobrecarga y reducirá considerablemente la vida útil de la correa.

**O.** Finalmente el punto más sencillo y sin embargo el más importante: la limpieza. Todo sistema de transmisión de potencia con correas en “V” debe permanecer absolutamente limpio, porque la suciedad en los canales de las poleas puede dañar considerablemente las correas, puede romperlas o reducir excesivamente su vida útil.

(Rexon Canadian Premium Gold, 2004)

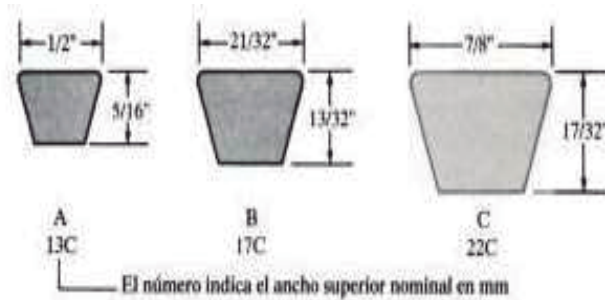
#### 4.2.2.4 Tipos de bandas:

**Banda plana:** es el tipo más sencillo, y con frecuencia se fabrica de cuero o de lona, la superficie de la polea también es plana y lisa, debido a esto se utilizan en maquinaria delicada donde el torque puede dañar elementos, la banda plana actúa como elemento protector pues cuando el torque se incrementa esta patina en el alojamiento.

**Bandas sincrónicas:** pasan sobre poleas con ranuras en las que se asientan los dientes de la banda, los dientes le dan mayor flexibilidad a la banda y mayor eficiencia en comparación con las bandas normales.

**Bandas en V:** la forma en v hace que la banda se acúñe firmemente en las ranuras, lo cual incrementa la fricción y permite la transmisión de grandes pares torsionales sin que exista deslizamiento.” (Mott, p. 2006)

Ilustración 4 Sección transversal de bandas.



(Robert L Mott, 2006 )

En la empresa Senco Colombiana S.A. las bandas son un elemento de constante cambio, aunque su mantenimiento es solo basado en rutinas de inspección se deberá tener en cuenta que materiales como aceites, esmaltes, pintura son elementos perjudiciales para las mismas disminuyendo su vida útil. Las bandas que mejor resultado han mostrado son referencia SKF pues tienen una vida útil de un año y medio en un ambiente rudo de trabajo, son muy resistentes a la abrasión provocada por las diferentes partículas que se componen en su mayoría de cuarzos y arcillas en polvo.

#### 4.2.3 Recubrimiento interior del molino.

El recubrimiento interior de los molinos de bolas se hace con el fin de proteger el material externo del cilindro que lo compone, ya que la constante acción abrasiva de las bolas desgasta el acero de las paredes haciendo perforaciones, es por esto que se utiliza un material que sirva de protector con características especiales como:

- Alta resistencia al impacto
- Alta resistencia a la abrasión
- Alta resistencia a la corrosión

Por estas cualidades el caucho es uno de los mejores recubrimientos para el interior de los molinos de bolas, “la resistencia al desgaste es una propiedad natural del caucho se puede potenciar con la adición de cargas reforzantes en mayor o menor proporción.

Podríamos definir las cargas reforzantes como aquellas que proporcionan a los vulcanizados de caucho un aumento de valores en el módulo, resistencia al desgarro y resistencia a la abrasión.

El refuerzo de estos valores ha venido observándose a partir del empleo de óxido de zinc, pero el espaldarazo definitivo lo supuso la constatación de esta cualidad en los negros de humo de pequeña partícula. En el caso de cargas blancas, igualmente se apreció este efecto en las cargas silíceas.

Para el empleo de los negros de humo como carga reforzante que aumenta el poder anti abrasivo del caucho, es muy importante conocer el tamaño de partículas (cuanto más pequeñas sean éstas, mayor será la facilidad de incorporación y mayor será también la superficie de interface disponible), la naturaleza física de la superficie y la porosidad de la misma.

Un caucho antiabrasivo es aquel especialmente dotado para soportar un desgaste significativo por rozamiento con otros materiales.

Esta resistencia a la abrasión se mide bajo determinadas condiciones de peso y velocidad, haciendo pasar una probeta, previamente formulada y conformada, por un papel esmeril colocado sobre un aparato llamado abrasímetro, expresándose su resultado como desgaste por la pérdida de volumen en  $\text{mm}^3$ . (prodelca, 2004)

#### 4.2.3.1 Propiedades y aplicaciones:

Una característica a la que el caucho natural debe gran parte de sus excelentes propiedades, y que a su vez es consecuencia de su regularidad estructural, es su tendencia a la cristalización. Cuando el caucho natural es estirado, adquiere en parte un carácter cristalino, reconocible por ejemplo, por difracción de rayos X.

Estas zonas cristalinas, llamadas cristalitos, actúan reforzando considerablemente el material, y a ello se atribuye la buena tenacidad de las mezclas crudas y la elevada resistencia mecánica de las mezclas sin carga.

El buen comportamiento del caucho natural con y sin cargas, permite obtener gomas con elevadas prestaciones mecánicas en una gama muy amplia de durezas, desde 40 hasta más de 90 grados Shore A. De igual forma, al poder limitar la proporción de carga, se pueden obtener vulcanizados con muy baja histéresis y por ello poca generación de calor en el caso de deformaciones repetidas.

Respecto a la resistencia al desgaste por abrasión, presenta excelentes propiedades. En cierto tipo de aplicaciones, como por ejemplo en manguera de granallado o en revestimientos de tolvas y conducciones de arena y lodos abrasivos, lo mejor es un material que sea a la vez resistente, blando y elástico; en este caso, el caucho natural ofrece posibilidades inigualables.

Otra característica destacada de los vulcanizados de caucho natural, es su resistencia a la fatiga. En el caso de la fatiga por flexión, su resistencia al agrietamiento es inferior a la del **SBR**, pero en cambio es mucho mayor su resistencia a la propagación de las grietas ya iniciadas.

Su resistencia a las temperaturas muy bajas, es decir, la temperatura límite de no fragilidad, solo es superada los cauchos de silicona.

Como limitaciones, se señala su sensibilidad a la oxidación y al ataque por ozono. Así mismo, como todos los cauchos no polares, se hincha apreciablemente en contacto con disolventes hidrocarbonados (gasolinas, aceites, minerales, hidrocarburos aromáticos y clorados, etc.); cuando esta hinchado, su resistencia mecánica se reduce considerablemente y aumenta su susceptibilidad a la degradación.

Tabla 1 Perfil de propiedades del caucho natural.

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
Gravedad específica	0.92-0.98
Peso del polímero base (lb/in <sup>3</sup> )	0.033
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	
Rango de dureza disponible	30 A – 100 A
Elongación (%)	500-700
Compresión set (22h a 70°C)	15 - 25
Resistencia a la histéresis	Excelente
Alargamiento a la rotura (%)	555
Resistencia a la abrasión	Excelente
Carga de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	200
Modulo de elasticidad al 300%	6.7
<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS</b>	
Constante dieléctrica (10 <sup>6</sup> Hz)	2.9
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>	
Temp. de servicio mínima para uso continuo	-57 °C
Temp. de servicio máxima para uso continuo	100 °C
Punto de ruptura	-62 °C
<b>RESISTENCIA AL AMBIENTE</b>	
Ozono	Pobre
Oxidación	Medio – Bueno
Intemperie	Medio – Bueno
Agua	Excelente
Radiación	Medio – Bueno

(Concauchos S.A., 2009)

Tabla 2 Características caucho natural

Límite de Dureza (Shore A)	30 a 90
Peso Específico (Material base)	0.93
Adhesión a Metales	Excelente
Adhesión a telas	excelente
Resistencia al Desgarramiento	Muy Buena
Resistencia a la Abrasión	excelente
Deformación por compresión	buena
Resistencia Dieléctrica	excelente
Electro aislamiento	Bueno a Excelente
Permeabilidad a los Gases	Bastante Baja
Acido resistencia Diluido	Regular a buena
Acido resistencia Concentrado	Regular a buena
Resistencia Hidrocarburos Alifáticos	Pobre
Resistencia Hidrocarburos Aromáticos	Pobre
Resistencia Solventes Oxigenados (cetonas)	Buena
Resistencia Disolventes de lacas	Pobre
Resistencia Hinchamiento en aceite Lubricante	Pobre
Resistencia Aceite y Gasolina	Pobre
Resistencia Aceites vegetales y animales	pobre buena
Resistencia Higroscopicidad	muy buena
Resistencia Oxidación	buena
Resistencia Ozono	pobre
Resistencia Envejecimiento a la luz solar	pobre
Resistencia Envejecimiento en caliente	regular

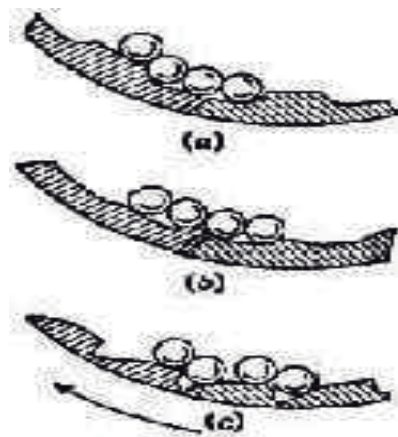
(Concauchos S.A., 2009)

#### 4.2.3.2 Tipos de recubrimiento en caucho natural:

Los recubrimientos interiores de los molinos son fabricados con el fin de proteger la superficie metálica del molino y con la segunda intención de transportar las bolas hasta un ángulo determinado, en la cual comienza el efecto cascada que tritura los materiales en su interior, es por esto que los recubrimientos interiores de un molino de bolas pueden obtener formas tan diversas, a continuación se muestran diferentes configuraciones que se pueden adoptar en el interior de un molino de bolas

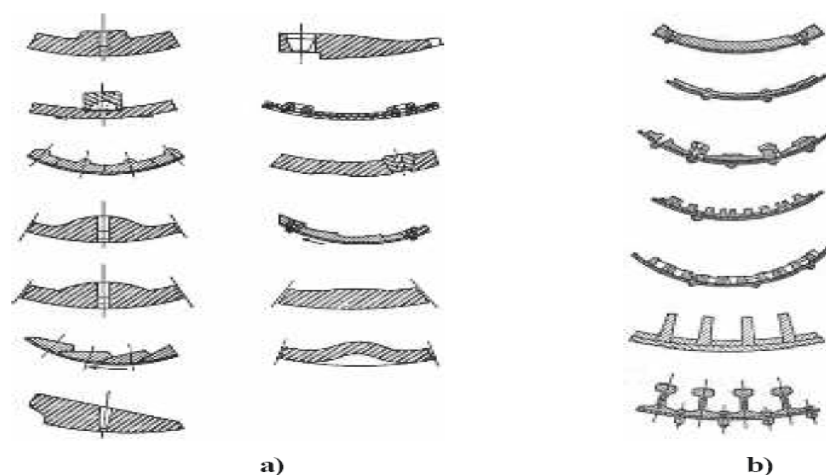
2

Ilustración 5 Transporte interior



(Cruz, 2005 pág 24)

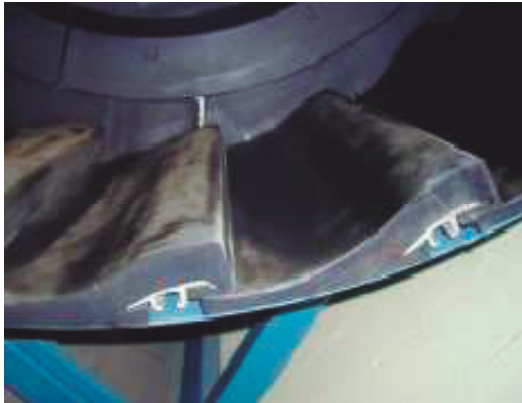
Ilustración 6 Tipos de recubrimiento interior



(Cruz, 2005 pág. 26)

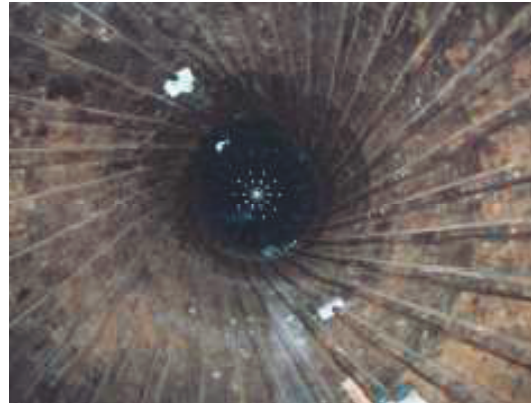


Ilustración 7 Caucho interior



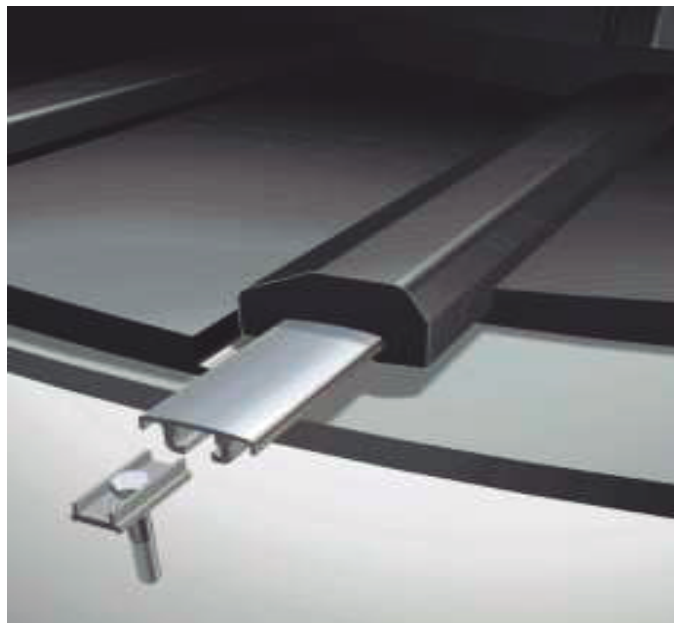
(Metso, 2008 pag 3)

Ilustración8 Recubrimiento interior



(Metso, 2008 pag 3)

Ilustración 9 Sistema placa y resalto.



(Metso, 2008 pág. 5)

En la ilustración 7, 8, 9 se muestran diferentes recubrimientos internos de molinos de bolas que pueden tomar diferentes formas según sea el proceso o materiales a triturar.

#### 4.2.4 Bolas de alúmina:

La alúmina ( $Al_2O_3$ ) es utilizada en procesos de fundición por su alto punto de fusión  $2000^{\circ}C$ , también utilizada en procesos que requieren una elevada resistencia mecánica a la abrasión, es el caso de empaque para sellos mecánicos, también es un excelente dieléctrico por ejemplo en las bujías de los automóviles y constantemente empleada en aplicaciones dentales (Askeland, 2004 pag 626)

Las bolas de alúmina son las encargadas en el proceso de la molienda de triturar los materiales, sirven como elemento de desgaste y por esta razón pueden contaminar la producción.

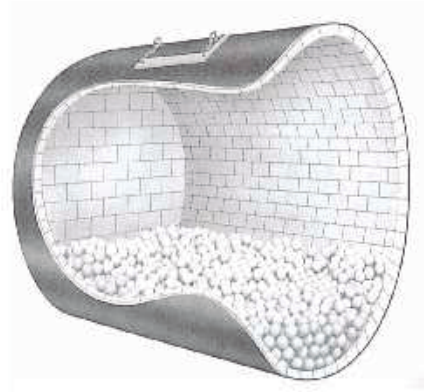
En la industria cerámica se utiliza alúmina como elemento principal en la composición de las bolas para evitar la contaminación, ya que estas se incorporan al proceso sin ningún problema, no es el caso de las bolas que están compuestas de fundición blanca pues contaminan el esmalte y en el momento del horneado resultan pequeñas partículas de color café que se oxidan en el proceso debido a las altas temperaturas del horno. a continuación se muestra la composición de las bolas de alúmina.

Ilustración 10 Composición bolas de alúmina.

Características físicas *		Composición química *		Diámetros *	
Contenido $Al_2O_3$	92%	$Al_2O_3$	92%	mm	pulgadas
Densidad g/cm <sup>3</sup>	≥ 3,85	$SiO_2$	5,89%	30	1¼
Contenido $O_2$	≤ 0,01%	$CaO$	0,01%	40	1½
Dureza Moh's	9	$MgO$	1,81%	50	2
Compresión Mpa	= 2000	$Na_2O$	0,11%	60	2½
Color	Blanco				

(Xieta, 2005)

### Ilustración 11 Interior molino de bolas



(Xieta, 2005)

Como se puede ver en la fotografía las diferentes granulometrías de las bolas hace que el molino tenga una molienda más regular lo que indica la constante necesidad de tener bolas de diferentes tamaños que actúen como elemento de soporte en los espacios pequeños, esta configuración de diferente granulometría puede aumentar la eficiencia del molino hasta en un 30%.

#### 4.2.5 Rodamientos:

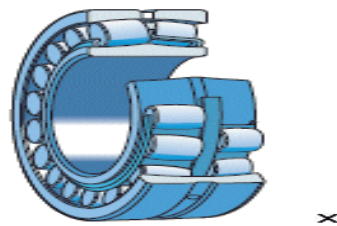
La lubricación en los molinos de bolas es un tema muy complejo debido a las bajas revoluciones que estos manejan, entre 125 y 133 rpm las cuales son tan pocas que no alcanza a haber una buena película fluida que evite el contacto metal-metal, por esto en los grandes molinos utiliza una película fluida hidrodinámica.

La película hidrodinámica se forma cuando dos superficies que están recubiertas de aceite, no se toca por el accionar del aceite entre las dos, depende en su gran mayoría de la velocidad de la pieza motriz y entre mayor sea su velocidad más fácil será la lubricación, en el caso de los molinos de bolas se necesita una bomba que accione el fluir del aceite entre el eje y la cuna donde este gira, para evitar el contacto metal-metal que produce fallas inminentes por soldadura.

En la empresa Senco Colombiana S.A. los molinos de bolas no son de tal magnitud así que tiene rodamientos de rodillos con soporte partido y manguillo de fijación los cuales no tiene ningún problema con el trabajo que realizan.

Los rodamientos son referencia 222XX SKF y son especiales para altas cargas combinadas y medias revoluciones de giro, como máximo 1300, para evitar recalentamientos y pérdida de la película lubricante.

Ilustración 12 Rodamiento de rodillos.



(SKF Group, 2005)

#### 4.2.6 Lubricación:

La lubricación se hace con una grasa tipo EP2 Es una grasa de alto rendimiento para uso general, de base hidroxidoestearato de litio esta formulada para proporcionar protección extra fuerte al desgaste, corrosión y daños de lavado por agua, es recomendada para la mayoría de tipos de aplicaciones marinas e industriales, incluidas aplicaciones para trabajos pesados donde hay presiones unitarias o cargas de choque elevadas, proporciona excelente protección frente a la oxidación y corrosión.

## Ilustración 13 Propiedades grasa EP2

Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales
Muy buena resistencia ante la degradación térmica, oxidativa y estructural.	Vida prolongada de la grasa y protección de cojinetes mejorada.
Excelente resistencia en entornos de daños de lavado por agua y rociado.	Asegura la lubricación y protección adecuada en entornos húmedos.
Excelente resistencia a la oxidación y corrosión superficial.	Protección de superficies de cojinetes críticos en entornos acuosos.
Muy buen comportamiento antidesgaste y bajo EP (presiones extremas).	Protección fiable de los equipos lubricados, incluso en condiciones de vibraciones y de cargas de choque con potencial para prolongación de la vida de los equipos y reducción de tiempos inactivos imprevistos.
Amplias aplicaciones multiuso.	Proporciona potencial para la racionalización del inventario y de reducción de los costes de almacenamiento.

(Cepsa lubricantes SA, 2006)

## Ilustración 14 Características típicas grasa EP2

<b>CARACTERÍSTICAS TÍPICAS</b>	
<b>MOBILUX EP 2</b>	
Grado NLGI	2
Tipo de espesante	Litio
Color, Visual	Marrón
Penetración, trabajada, 25°C, ASTM D 217	280
Viscosidad del aceite, ASTM D 445 cSt a 40°C	160
Carga de prueba Timken, ASTMD 2509, lb	40
Prueba 4 bolas, Desgaste, ASTM D 2266, marca, mm	0,4
Prueba 4 bolas, carga soldadura, ASTM D 2509, Kg	250
Punto de goteo, D 2265, °C	190
Protección oxidación, ASTM D 6138, Agua destilada	0-0

(Cepsa lubricantes SA, 2006)

## 5 LISTADO DE MANTENIMIENTO EJECUTADO

En la empresa Senco Colombiana S.A. nunca se desarrollo un plan de mantenimiento preventivo hasta el año 2008, en el cual se creó proyecto de generar un plan de mantenimiento básico en la planta con el fin de descifrar la continuidad de las fallas que se presentan en la maquinaria, el plan de mantenimiento no es algo muy sofisticado pero se realizó con la firme intención de encontrar tiempos de falla y generar un programa de mantenimiento sobre un software en un futuro cercano.

Frecuencia de mantenimiento molino de bolas

---

001-08	molino de bolas # 2	cada 3 meses
<ul style="list-style-type: none"><li>• Revisar el nivel de aceite del reductor, BG 251 tener en cuenta que debe botar Un poco Al momento de abrir el tapón, De lo Contrario se debe ajustar el nivel.</li><li>• Aceite ISO 220</li></ul>		

---

001-08	molino de bolas # 2	cada 6 meses
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se abre orden de trabajo para el equipo 001-08</li><li>• Revisar las bandas del molino cantidad 4 Efectuar cambio si es necesario Referencia C 225</li></ul>		

---

001-08	molino de bolas # 2	cada 4 meses
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se abre orden de trabajo para el equipo 001-08</li><li>• Lubricar los rodamientos del molino<ul style="list-style-type: none"><li>○ rodamientos //22222 EK / C3//cantidad 2</li><li>○ soporte rodamiento // SNL 522-619 //</li><li>○ mango fijación rodamiento // H 322 //</li><li>○ retenedor // TSN 522</li><li>○ anillo FRB 13.5/200</li><li>○ lubricante SKF LGMT 2/1</li></ul></li><li>• hacer cambio de los rodamientos si es necesario</li></ul>		

---

001-08

molino de bolas # 2

cada 18 meses

- Se abre orden de trabajo para el equipo 001-08
- Cambio de aceite para el reductor BG 251  
Aceite ISSO 220
- Revisión de los rodamientos del motor, si es necesario  
Efectuar el cambio

Rodamientos 6208-2RS-C3 marca SKF

### 5.1 FORMATO ORDEN DE MANTENIMIENTO

En la ilustración 15 se aprecia el formato generado para cada orden de mantenimiento con la finalidad de tener un soporte de las órdenes ejecutadas por el personal de mantenimiento.

Ilustración 15 Orden de mantenimiento


	ORDEN DE MANTENIMIENTO		CODIGO : FP-400-2	
			VERSION: 1	
ORDEN N° 595	FECHA: 17/06/2009	HORA: 7:00 am	FECHA: 14/07/08	
EQUIPO: molino de bolas # 2	TIPO: C	P X preventivo		
SECCION: preparacion pasta	DETENIDO:	SI	X	
TRABAJO A REALIZAR:				
revisar el nivel de aceite del reductor molino				
revisar el estado de las bandas				
TRABAJO REALIZADO:				
se reviso el nivel de aceite y esta bien y las bandas se encuentran buenas				
FECHA INICIO DE TRABAJO: 24/06/2009		FECHA TERMINACION DE TRABAJO: 24/06/2009		
HORA: 8:30 am		HORA: 9:00 am		
MATERIALES UTILIZADOS	CANTIDAD	MATERIALES UTILIZADOS	COSTO	
SOLICITA	juan camilo loaiza			
AUTORIZA	alex vanegas	EJECUTA	sebastian giraldo	

Tabla 3 Control de tiempos

fecha	procedimiento realizado	tiempo inicial	tiempo final	total
15/09/2008	preventivo lubricación e inspección	8:30 PM	9:00 PM	0:30
25/11/2008	preventivo lubricación e inspección	3:45 PM	4:30 PM	0:45
08/11/2008	mantenimiento roscas de las tapas	7:00	9:10 AM	2:10
19/12/2008	preventivo nivel aceite y bandas cambio de placa testero izquierdo y un resalto	6:00 AM	2:00 PM	16:00
13/01/2009	arreglo tapón de descarga	7:15 AM	7:45 AM	0:30
16/01/2009	preventivo ruido raro en el reductor cambio de rodamiento delantero	16/02/2009	20/01/2009	4 días
13/02/2009	cambio de niple y tapón de 3"	8:30 AM	3:00 PM	6:30
25/03/2009	cambio de niple y tapón de 3"	7:40 AM	1:00 PM	5:20
24/03/2009	preventivo lubricación y nivel de aceite	12:00 PM	12:45 PM	0:45
17/06/2009	preventivo nivel de aceite y estado de las b	8:30 AM	9:00	0:30
21/07/2009	preventivo lubricación e inspección	12:15 PM	12:50 PM	0:35
17/09/2009	revisar el revestimiento nivel de aceite	7:00 AM	1:30 PM	6:30

La tabla 3 indica la fecha y el mantenimiento realizado en la máquina, como se puede ver en las fechas de registro el seguimiento que se está haciendo en la maquinaria aun es muy joven, por esto se toman datos constantemente con la finalidad de tener un archivo confiable del cual se podrán extraer información para generar un plan de mantenimiento eficaz.

Tabla 4 Costo de mantenimiento

FECHA	ÍTEM	P/N	DESCRIPCIÓN	CANT	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
24/03/2008	1		resaltos			1400000
24/03/2008	2		placas			2760000
24/03/2008	3		lubricante			44000
27/09/2008	1	placa de caucho	se fija una placa nueva en el interior	1	200000	200000
27/09/2008	2	tornillos de 3/8 X 5	sistema de fijacion	20	750	15000
24/11/2008	1	grasa	multiproposito	1	5000	5000
08/11/2008	1	tapon de 3"	cambio	1	6500	6500
08/11/2008	2	niple 3"	cambio	1	30000	30000
08/11/2008	3	soldadura 6011	ajuste del tapon al molino	1	2000	2000
19/12/2008	1	placa de caucho	cambio	1	450000	450000
19/12/2008	2	resalto de caucho	cambio	1	375000	375000
19/12/2008	3	tornillo paraguas 5/16	cambio	29	150	4350
19/12/2008	4	tueras de 5/16	cambio	29	100	2900
19/12/2008	5	arandela de 3/8	cambio	29	100	2900
19/12/2008	6	tornillo 5/8 con tuerca	cambio	4	1500	6000
13/01/2009	1	niquel 100	coldadura	2	4000	4000
16/02/2009	1	reductor	cambio rodamiento delantero	1	1700000	1700000
13/02/2009	1	tapon y niple 3"	cambio	1	36500	36500
25/03/2009	1	tapon y niple 3"	cambio	1	36500	36500
16/09/2009	1	tapon y niple 6"	cambio	1	200000	200000



## 6 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El objetivo principal de este proyecto de grado es implementar el diseño de una tapa para un molino de bolas, la cual aumentara la confiabilidad de la máquina y mejorara la calidad de vida de los operarios evitando constantes riesgos en el momento de la carga y descarga del molino de bolas.

### 6.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Existen varias metodologías de diseño cada una representa fortalezas respecto a la otra. La evolución de estas metodologías se ha dado desde los conceptos presentados por Bauhaus hasta la concepción de productos técnicos bajo la norma alemana VDI 2222.

Al hacer una síntesis de estas teorías se extraen las siguientes etapas.

- Formulación de la tarea
- Listado de características
- Listado de requisitos (la cual contiene las exigencias fijas, requisitos mínimos y deseos)
- Formulación de la función (funciones parciales, totales y elementales)
- Definición de los principios físicos básicos
- Caja morfológica
- Formulación satisfactoria
- Formalización de la solución final

(Rodriguez, 2003)

## 6.2 PLANTEAMIENTO DE LA SITUACIÓN DE DISEÑO

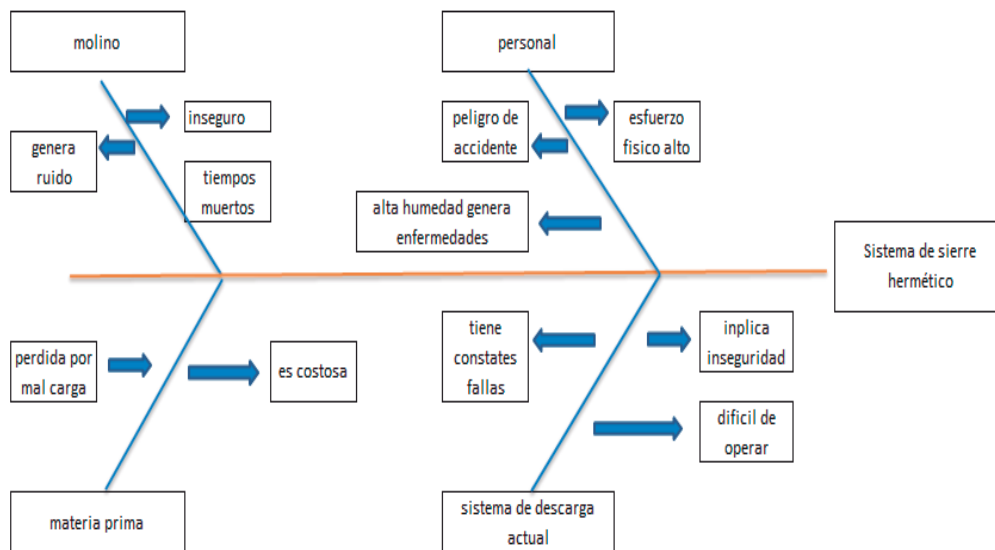
En la concepción del diseño, se parte con la clarificación de la tarea, los resultados se ingresan en una lista de requisitos la cual tiene las exigencias fijas, los requisitos mínimos y los deseos correspondientes a la función general y a las funciones parciales,

En la búsqueda de soluciones, para evitar prejuicios, se comienza con la abstracción de la tarea y se sigue con la división de la función total resultante en funciones parciales y con la búsqueda de principios de soluciones para estas.

### 6.2.1 Diagrama causa efecto

En el diagrama causa efecto se tiene en cuenta las diferentes opciones que pueden afectar el elemento que se desea diseñar.

Ilustración 16 Diagrama espina de pescado



### 6.3 FORMULACIÓN ESPECÍFICA DE LA SITUACIÓN DE DISEÑO

El objetivo de este proyecto de grado es diseñar un sistema de carga y descarga para los molinos de bolas de la empresa Senco Colombiana S.A. ya que actualmente los molinos de bolas se cargan por un niple de 6 pulgadas de diámetro y se descarga por un niple de 3 pulgadas de diámetro.

El problema que el sistema actual posee es que el niple y el tapón están en constante contacto con el material que se le adiciona al molino de bolas al momento de hacer la carga, estos materiales, en su mayoría feldespatos, son muy duros y generan un desgaste prematuro en las roscas de las tapas.

La vida útil de este conjunto es muy corta debido al constante trabajo y genera una falla en el molino de bolas que provoca un paro en la máquina de un día, en la empresa hay tres molinos de bolas teniendo que dedicar mensualmente 1.5 días de trabajo correctivo para los molinos, lo cual es un tiempo muerto muy alto para producción.

Ilustración 17 Molino de bolas Senco Colombiana S.A.



## 6.4 LISTA DE CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS

### 6.4.1 Requisitos fijos

- Que el sistema de descarga no deje salir las bolas del interior del molino
- Fácil operación
- Fácil mantenimiento o cambio

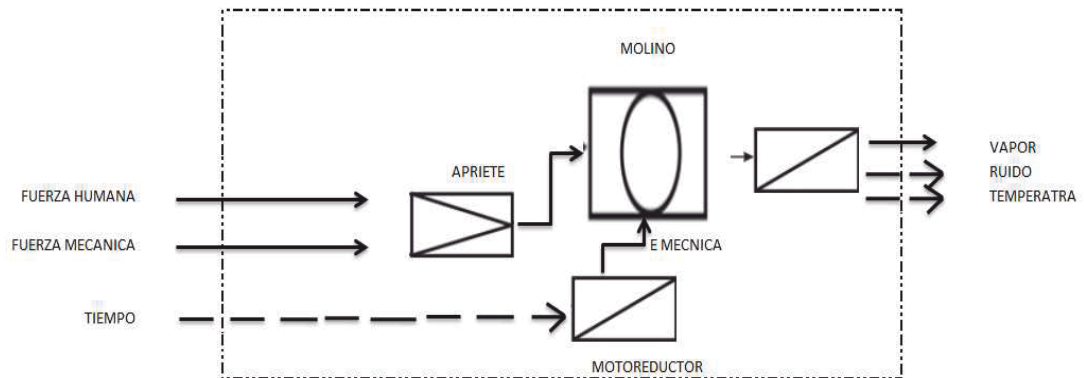
### 6.4.2 Requisitos mínimos

- Que el sistema de presión o sello no tenga contacto con el material interior
- Las partes intercambiables sean de fácil consecución
- La tapa haga un sello eficiente
- El sistema debe ser seguro
- La tapa pueda trabajar en constante humedad
- Fácil mantenimiento

### 6.4.3 Deseos

- Que el sistema de cierre sea estético

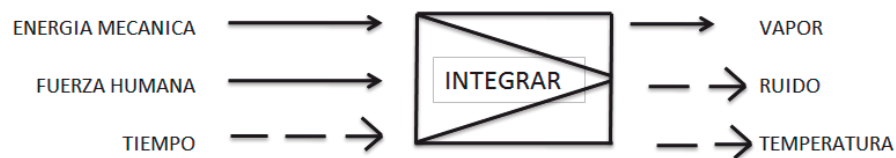
Ilustración 18 Estructura funcional



## 6.5 FUNCIONES A REALIZAR

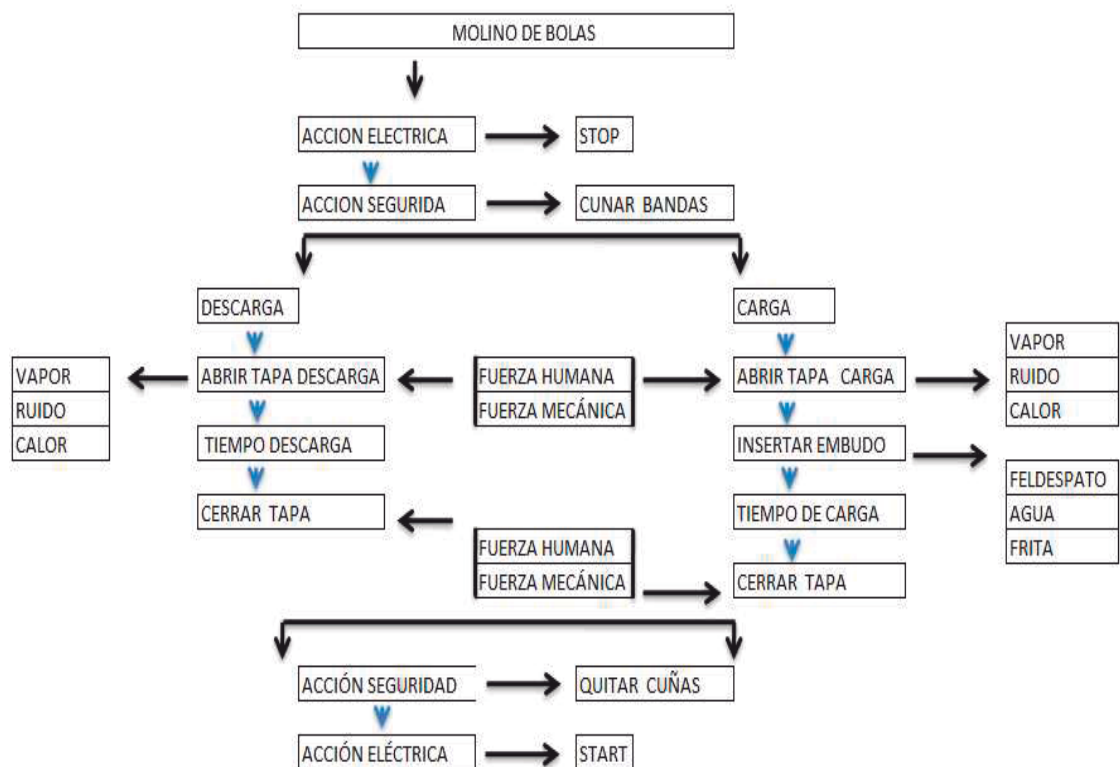
Para el diseño de la tapa del molino de bolas, se debe tener en cuenta que el sistema que existe en el momento tiene una tapa por la cual se hace el descargue del molino de bolas y al lado una por la cual se hace la carga, en el diseño a implementar también se tendrán una tapa que puede cumplir con las dos funciones, esta tapa deberá sellar en todo el proceso de molienda y hacer la descarga en el momento requerido

Ilustración 19 Caja negra



## 6.6 FUNCIÓN PRINCIPAL

La subdivisión de las funciones principales se hace de tal manera que se puedan generar funciones más sencillas que puedan describir un proceso de fabricación.



## 6.7 PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN

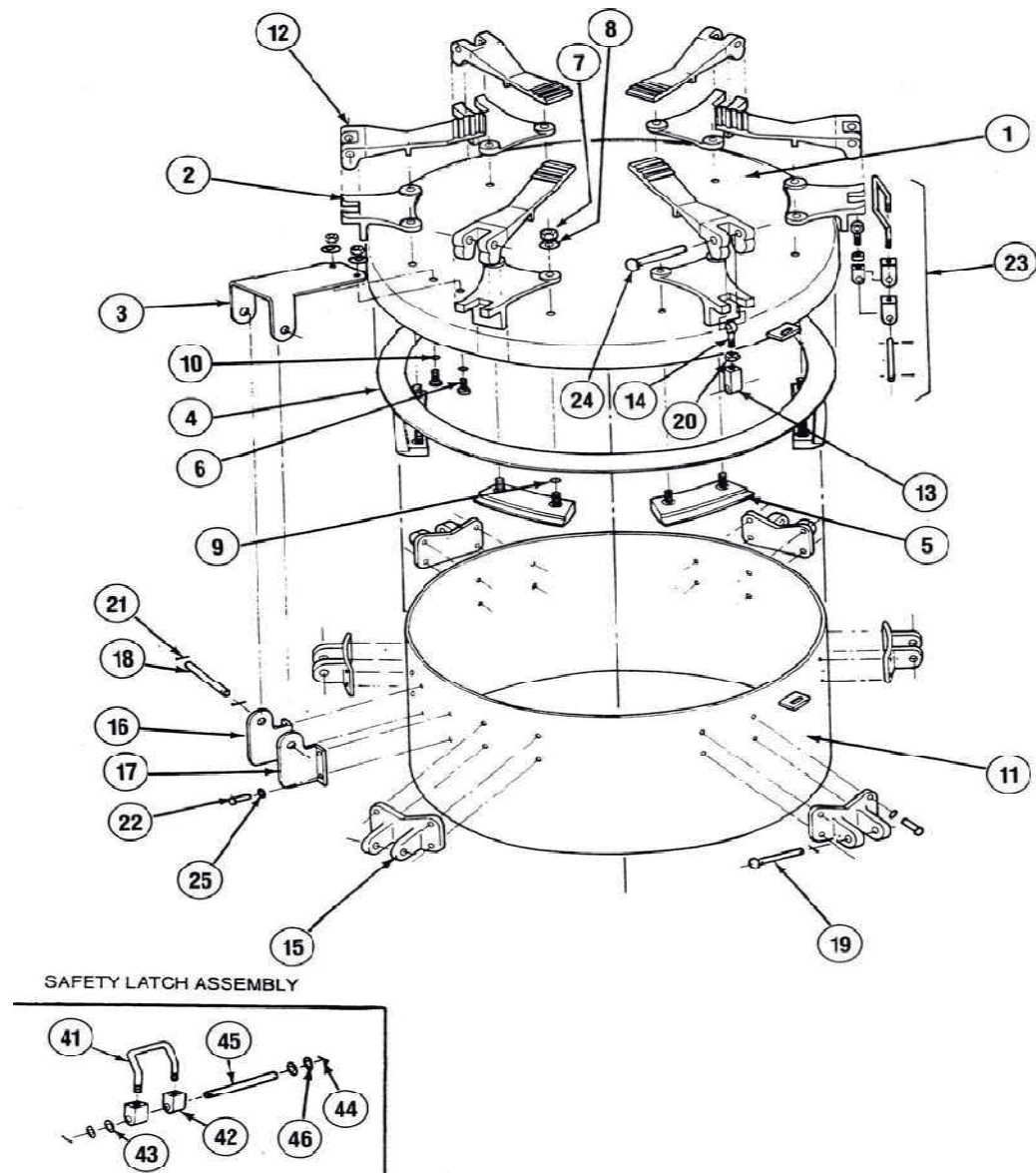
2

Es claro que en el mundo hay diferentes diseños que cumplen con muchos de los requisitos que se piden a la hora de suplir una necesidad, es por esto que se ha buscado en internet diferentes diseños de tapas con sello hermético que pueden desempeñar una buena función en el problema que se tiene en la empresa Senco Colombiana S.A.

Los sistemas de sellado en tanques con acceso a inspección interna están representados por un manhole en el cual se tiene una tapa con características especiales de sellos y fácil utilización.

Los sistemas que tienen presurización y despresurización constante deben ser inspeccionados periódicamente debido a las repetitivas deformaciones que sufren los materiales, es por esto que las pruebas de inspección que se utilizan deben ser muy versátiles, en la ilustración 20 se muestra un sistema de manhole utilizado en la industria. (Flanagan, 1990)

Ilustración 20 Tapa # 1



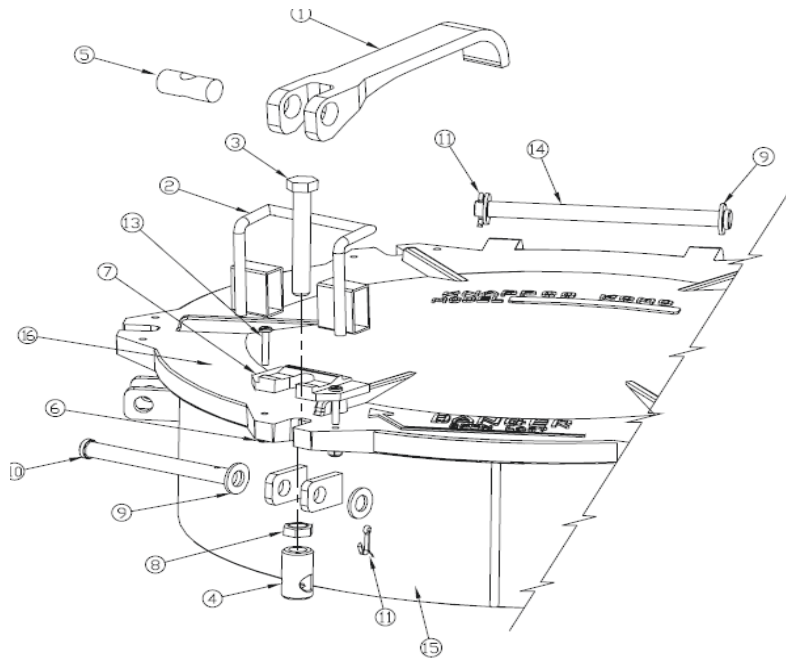
(solimar, 2007)



## Ilustración 21 Tapa # 2


**Order Information : P/N LM1151**  
**Knappco LM+ latching system**

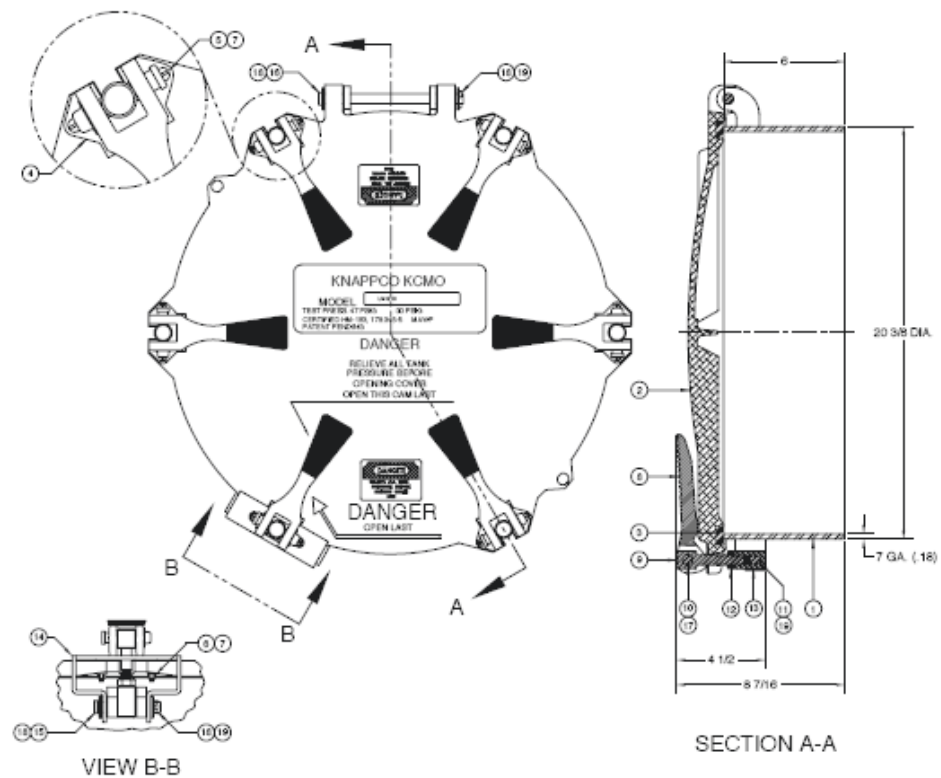
ITEM	P/N	DESCRIPTION	REQ'D
1	9373	CAM LEVER	6
2	9300	SAFETY CATCH ASSEMBLY	1
3	9310	SCR CAP	6
4	1012	CONNECTOR	6
5	3068	PIN UPPER PIVOT	6
6	4486	LOCK NUT	12
7	6832	WEAR PLATE NYLON	6
8	1016	JAM NUT (1/2"-20)	6
9	1043	WASHER (1/2" FLAT)	4
10	5084	PIN SAFETY CATCH	1
11	1045	COTTER PIN	7
12	5677	CAM PIN (NOT SHOWN)	
13	9588	SCREW (10-24 X 1 1/4")	12
14	3955	PIN PLD. CLEV.	1
15	3467	WELD RING; ALUMINUM	1
16	9093	ALUMINUM COVER	1
	9583	KIT: CAM ASSEMBLY (INCLUDES ITEMS 1-13)	1
	9209	GASKET NEOPRENE BARBED (FOR LM+ COVER)	1
	9821	GASKET BUNA-N BARBED (FOR LM+ COVER)	1
	3523	GASKET NEOPRENE (FOR TRADITIONAL LM COVER)	1



(kanappco, 2002)

En el sistema se utiliza un solo anclaje de sujeción representado por la pieza #20 de la ilustración 21 y en lado opuesto donde se encuentra el sistema de sujeción se implementa una bisagra representado por el elemento #14 que mantiene la tapa fija en su posición inicial, muy utilizada en tanques para transporte de líquidos.

Ilustración 22 Tapa # 3 clamps



ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	3512	WELD RING ASSY (STEEL)	1
2	3539	COVER (ALUM.)	1
3	3395	GASKET (BUNA)	1
4	2592	WEAR PLATE (S.S.)	6
5	3546	SCREW (S.S.)	10
6	3545	SCREW (S.S.)	2
7	3544	LOCK NUT (S.S.)	12
8	3949	CAM LEVER (PLATED) <sup>1</sup>	6
9	3439	STUD (PLATED) <sup>1</sup>	6
10	3952	CLEVIS PIN (PLATED) <sup>1</sup>	6
11	5677	CLEVIS PIN (PLATED)	5
12	1016	JAM NUT (PLATED) <sup>1</sup>	6
13	1012	CONNECTOR (PLATED) <sup>1</sup>	6
14	3686	SAFETY CATCH (PLATED)	1

ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
15	3953	CLEVIS PIN (PLATED) <sup>1</sup>	1
16	3955	CLEVIS PIN (PLATED)	1
17	1020	PAL NUT (PLATED) <sup>1</sup>	6
18	1043	WASHER (PLATED)	4
19	1045	COTTER PIN (PLATED) <sup>1</sup>	7

## ALTERNATE SEALING MEDIA / CAM ASSEMBLIES

PART NUMBER	DESCRIPTION
3523	GASKET (WHITE NEOPRENE)
4244	GASKET (VITON)
4862	GASKET (SILICONE)
3519	CAM ASSEMBLY KIT (PLATED)
4111	CAM ASSEMBLY (S.S.)

1 - Included in 3519

(kanappco, 2002)

El manhole que se muestra en la ilustración 22 tiene un sistema que está compuesto de muchos clamps con el fin de ejercer una fuerza constante y hacer un sello en la tapa, uno de estos normalmente el que está en frente de la bisagra tiene un sistema de seguridad con pasador para evitar posibles accionamientos por sobrepresión.

### Ilustración 23 Tapa # 4 alta presión



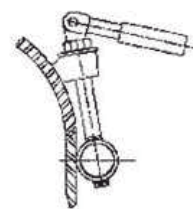
Break-Over Wrench Assembly



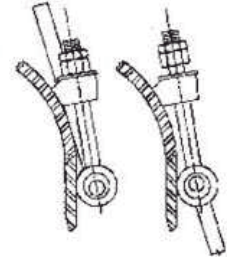
Camlock Assembly Aka flip over handles

#### T-BOLT CLOSURE OPTIONS

Break-Over Wrenches and Camlocks are optional attachments and accessories adding further to the versatility and utility of our T-Bolt Closures. Attachment of either of these options to the closure's T-Bolts provides extra convenience, speed and ease in tightening the bolts. These attachments eliminate the need for separate wrenches.



Break-Over Wrench Assembly



Tightened Loosened  
Camlock Assembly

(Commercial Metal Forming, 2007)

En la ilustración 23 se muestran tapas de cierre para sistemas de alta presión, estos sistemas son de accionamiento rápido y como se ve en la imagen el sistema se auto bloquea para evitar pérdidas de presión o fugas de materiales.

### Ilustración 24 Tapa # 5 Handhole alta presión.



#### Tank Accessories

- ASME Code Elliptical Handholes & Manways
- Non-Pressure Manhole Frames & Covers
- Reversed Flange Manhole Frames & Covers
- Phoenix Drop-Forged Weld Flanges
- Hinged Closures

Handhole Assemblies Elliptical ASME Code (Carbon)

Description	Estimated Weight (lbs.)	PSI @ 650° F	Stock Set Number
3 x 4 x 5/16 x 1-1/4	4.5	920	#4
4 x 6 x 1/4 x 1-5/8	7.0	1360	#104
4 x 6 x 1/2 x 2	12.5	1360	#116
4 x 6 x 3/4 x 3	17.5	1360	#128
6 x 8 x 1/2 x 2	16.0	540	#210
6 x 8 x 3/4 x 3	24.0	540	#222

(solimar, 2007)

## 6.8 CAJA MORFOLÓGICA

Este método busca agrupar las posibles soluciones, a las funciones parciales o elementales.

Ilustración 25 Caja morfológica energía mecánica




Energía mecánica		
		Convertir energía eléctrica en mecánica
		Convertir energía mecánica en eléctrica
		Convertir energía mecánica en hidráulica

Ilustración 26 Caja morfológica despresurizar



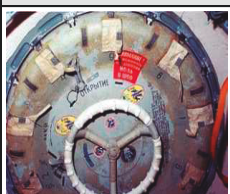
Despresurizar		
		Convertir energía mecánica en eléctrica
		Convertir energía mecánica en hidráulica
		Convertir energía mecánica en neumática

Ilustración 27 Caja morfológica descarga

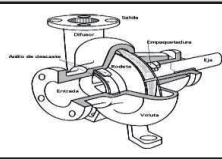
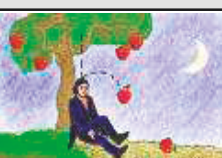


Caja morfológica		
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

Ilustración 28 Caja morfológica hacer la carga

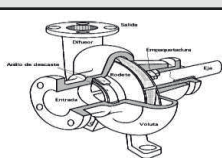
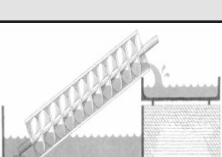


Caja morfológica		
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

Ilustración 29 Caja morfológica sistema presión del sello




¿¿¿¿¿¿ ¿?? ¿??¿??¿??¿??¿??¿??¿??¿??¿		
		¿??¿??¿??¿??
		?? ?? ¿??¿??
		¿??¿??¿??¿??

Ilustración 30 Caja morfológica sistemas de sello

¿?? ¿? ¿??¿??¿??¿??¿??		
		¿ ??¿??¿??¿??¿??¿??¿??¿??¿??
		?? ??¿???
		?? ¿?? ¿??¿?? ¿?? ¿??

Las opciones ya nombradas en la caja morfológica pueden dar un sin número de soluciones a un problema en específico, en el caso de Senco Colombiana S.A. el diseño de la tapa para los molinos de bolas.

Las relaciones que se obtienen de la caja morfológica no siempre son muy coherentes al momento de diseñar es por esto que se debe ser cuidadoso con las opciones que entrega la caja morfológica.

El sistema de caja morfológica se escogerán tres posibles alternativas las cuales se analizaran con el fin de tener el mejor diseño que satisfagan las necesidades de la empresa.

## 6.9 POSIBLES ALTERNATIVAS

En el cuadro que se muestra a continuación están resumidas las alternativas que se tienen para generar diseños que den solución al problema que presentan los molinos de bolas.

Variable	1	2	3	4
transformación de la energía mecánica	cilindro hidráulico	llave de mano	mototool neumático	
despresurizar	válvula de seguridad	válvula de despresurización	tapa de despresurización	
hacer la descarga	con bomba	por gravedad	por tuberías	recipiente
hacer la carga	con bomba	con tornillo	embudo	banda transportadora
sistema de presión para el sello	prensado	tornillo	actuador	
como hacer el sello	acabado superficial	empaquete	sello laberintico	

Se realizará una evaluación técnica de cada una de las alternativas entregadas por el cuadro funcional con el fin de escoger la mejor alternativa de solución, estas alternativas se basaran en el cuadro de evaluación que se tendrá a continuación.



Ilustración 31 Evaluación.

Puntos	Significado
1	Muy Poco importante
2	Poco importante
3	Medianamente importante
4	Importante
5	Muy importante

Ilustración 32 Ruta de alternativas.

variable	1	2	3	4
transformación de la energía mecánica	cilindro hidráulico	llave de mano	mototool neumático	
despresurizar	válvula de seguridad	válvula de despresurización	tapa de despresurización	
hacer la descarga	con bomba	por gravedad	por tuberías	recipiente
hacer la carga	con bomba	con tornillo	embudo	banda transportadora
sistema de presión para el sello	prensado	tornillo	actuador	
como hacer el sello	acabado superficial	empaquetado	sello laberíntico	

6.9.1 Evaluación técnica análisis de las propuestas:

CARACTERISTICAS	ALTERNATIVAS					
	PONDERACION		1		2	
	PUNTOS	PONDERACION	PUNTOS	PONDERACION	PUNTOS	PONDERACION
Que el sistema de descarga no deje salir las bolas del interior del molino	5	4	20	5	25	25
Fácil operación	4	3	12	3	12	16
Fácil mantenimiento o cambio	5	2	10	3	15	20
Que el sistema de presión o sello no tenga contacto con el material interior	3	3	9	3	9	9
Las partes intercambiables sean de fácil consecución	4	3	12	4	16	16
La tapa haga un sello eficiente	4	4	16	4	16	16
El sistema debe ser seguro	4	3	12	4	16	12
La tapa pueda trabajar en constante humedad	5	3	15	3	15	20
Fácil mantenimiento	4	2	8	4	16	16
MAXIMA PONDERACION	164		114		140	150
PORCENTAJE	100%		69%		85%	91%

- Primera opción línea azul

Es una de las opciones más completas desde el punto de vista ingenieril ya que tiene un sistema que se abre por medio de un cilindro hidráulico, válvula de despresurización, descarga con bomba y un sello laberintico que hacen del sistema un elemento muy completo, la parte que lo hace desfavorable frente a las otras opciones es que este sistema se compone de elementos complejos como lo es un sello laberintico que puede fallar con el constante uso ya que el material vertido en los molinos de bolas es feldespato el cual es muy duro y abrasivo, fuera de esto el costo de fabricación sería muy alto y el mantenimiento muy complejo.

- Segunda opción línea violeta

La segunda opción no se tiene en cuenta debido al sistema de carga que se ejecuta por medio de una banda transportadora, este elemento ya está implementado dentro de la planta pero se utiliza al momento de subir la carga de los dispersores al segundo piso que es el punto de almacenamiento, ya que los dispersores son máquinas que pueden tener una altura de 4 metros, y la carga se debe hacer por la parte superior del mismo, otra desventaja que se ve es que el sistema de presión se hace por medio de tornillos que haría muy ineficiente el momento de realizar la carga de las materias primas ya que una tapa como mínimo debe tener ocho tronillos.

- Tercera opción línea negra.

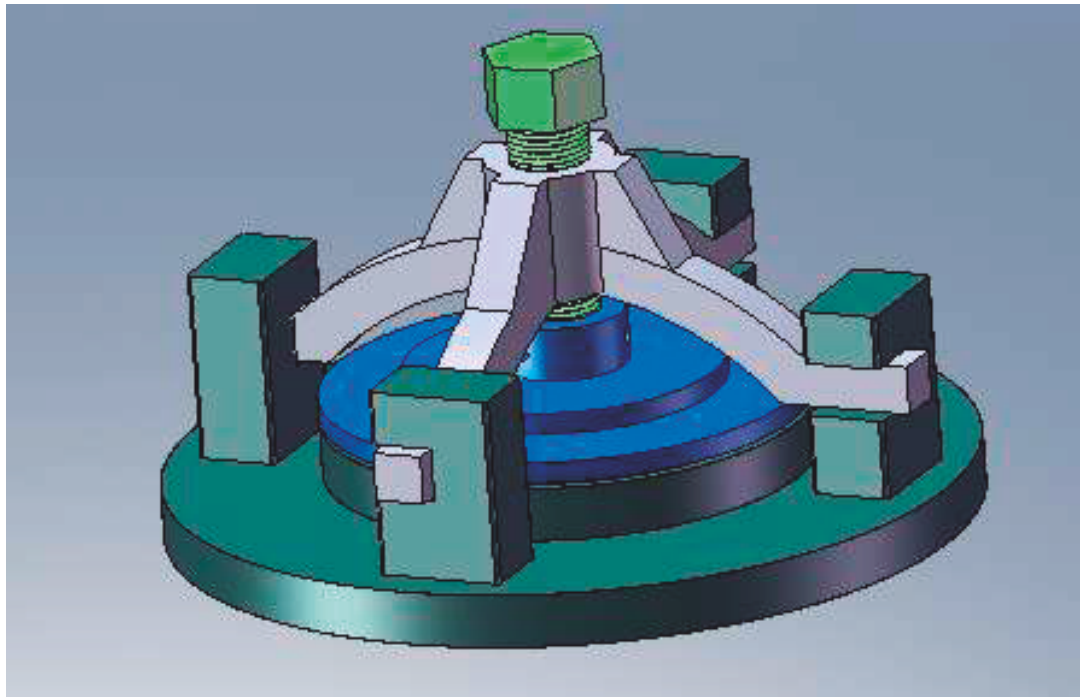
La tercer opción es la más indicada pues se compone de un sistema mecánico que está conformado de una tapa que a la vez sirve de sistema de despresurización, la descarga se hace por gravedad ya que lo que se quiere descargar es un líquido que sale de manera fácil, haciendo de este un sistema versátil, la carga se debe hacer por medio de un embudo que enfoca la carga en la boca del molino de bolas, pues la materia prima se encuentra almacenada en una plataforma que tiene este fin, el sello se realiza con un empaque que se prensa por medio de la tapa, evitando las fugas de líquidos haciendo de este sistema como el más oicionado por su versatilidad y su

facilidad de mantenimiento ya que las piezas que lo componen todas son intercambiables.

### 6.10 DISEÑO MÁS ÓPTIMO FOTOGRAFÍA

Luego de un análisis de las opciones presentadas el modelo más óptimo que se obtuvo según la tabla de evaluación técnica es representado en la ilustración 33 la cual muestra el diseño propuesto por el estudiante para dar solución al problema.

Ilustración 33 Diseño tapa molino de bolas.



## 7 CÁLCULOS

Los cálculos se realizarán con el fin de tener un elemento seguro a presurizaciones por fricción y generación de vapor, aunque el recipiente tiene fugas de gases debido a su construcción hay que ser conscientes del peligro que una máquina de este tipo representa para una empresa que tiene mucho personal.

Para encontrar la fuerza que ejerce la presión sobre el sistema de araña se encontrará la fuerza que se transmite en el área de sello.

$$F = p \cdot A \quad \text{Donde} \quad p = \text{presión}; F = \text{fuerza}; A = \text{área} \quad (7.1)$$

La fuerza se ejerce sobre una tapa que es redonda teniendo para A

$$A = \pi r^2 \quad \text{Donde } r^2 = \text{radio}^2 \quad (7.2)$$

$$F = p \cdot \pi r^2$$

$$F = 250 \cdot \pi \cdot (0.5)^2$$

Para encontrar la fuerza concentrada sobre el área de contacto

$$F = p \cdot A$$

$$F = 250 \cdot \pi \cdot (0.5)^2$$

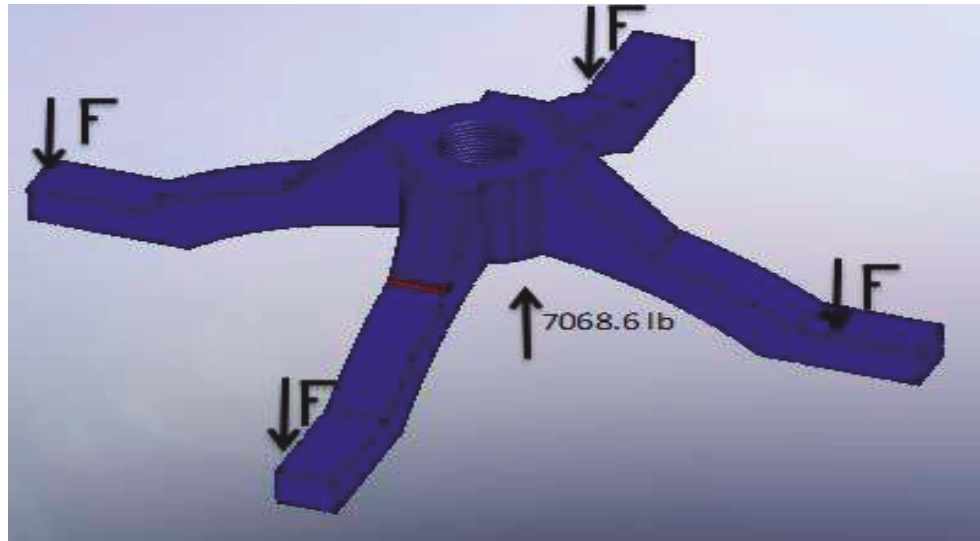
$$F = 250 \cdot \pi \cdot (0.5)^2$$

Esta es la fuerza que se ejerce sobre la tapa cuando el molino de bolas hipotéticamente tiene una carga de 250 lb/in<sup>2</sup> que es la presión base para el diseño de recipientes que trabajan a presión la cual se transmitirá a los demás elementos para evitar las deformaciones constantes.

(bedford, 1996 pag 488)

Esta fuerza se debe trasladar a los extremos de la araña para saber las cargas que están ubicadas en el exterior de la estructura y poder encontrar el esfuerzo más grande que esta sufrirá con el fin de constatar que la estructura no se deformara constantemente al momento de aplicar cargas

Ilustración 34 Distribución de cargas en araña.



Para hacer este análisis se tomo referencia la fuerza que se desplaza por el tornillo y se transmite a la estructura con el fin de encontrar la deformación de la pieza por las cargas aplicadas, fuera de esto se asume un empotramiento en la base superior con el fin de trasladar la carga total a los extremos.

## 7.1 ANÁLISIS ESTÁTICO

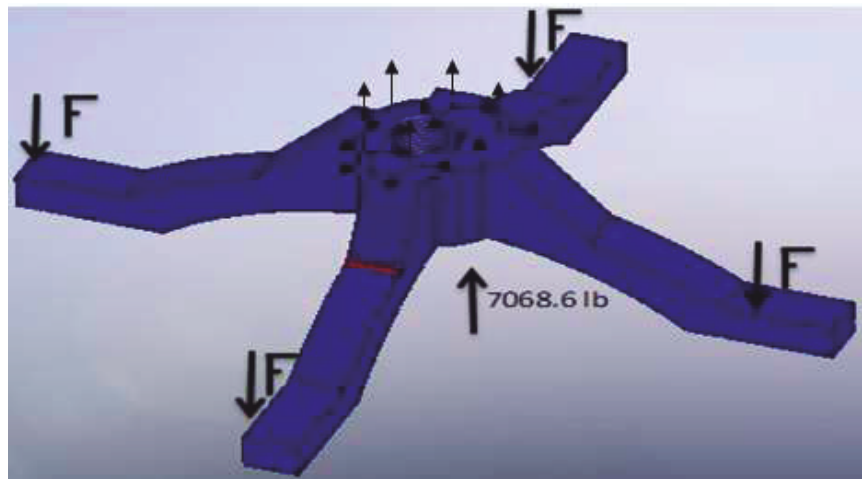
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (7.3)$$

Se consideran las cuatro F fuerzas iguales debido a la simetría de la pieza

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Donde } A = \pi r^2$$

## 7.2 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN Y ESFUERZOS

Ilustración 35 Condición de empotramiento base superior.



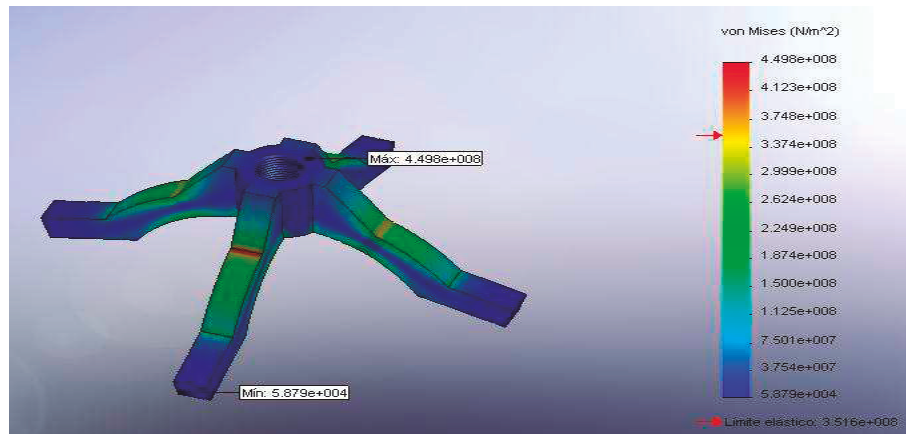
Para los desplazamientos encontrados en el análisis realizado con al herramienta cosmos Works se encontró que como se puede ver en la imagen que.

Propiedades del material [SW] AISI 1020

Tabla 5 Propiedades del material [SW] AISI 1020

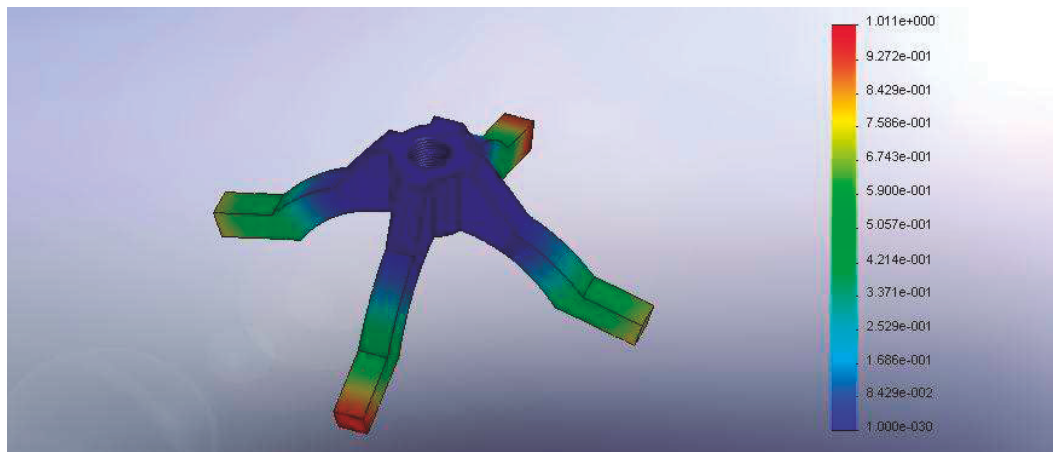
Módulo elástico	2e+011	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	NA
Densidad	7900	kg/m <sup>3</sup>
Límite elástico	3.5157e+008	N/m <sup>2</sup>

Ilustración 36 Límite de fluencia.



En la ilustración 36 se puede ver que la carga a la cual está sometida el elemento no tiene deformaciones que sobrepasan en límite de fluencia garantizando que no hay deformaciones permanentes en la pieza analizada, se deberá mejorar los puntos en los cuales se presentan acumuladores de esfuerzos con el fin de optimizar la geometría de la pieza y por ende la manera de distribuir los esfuerzos en su interior.

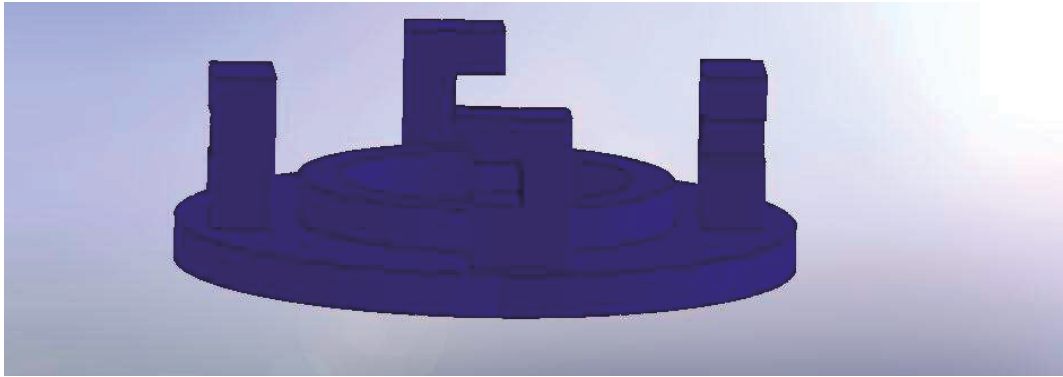
Ilustración 37 deformación araña [mm].



En la imagen 37 se puede analizar la deformación en milímetros que tiene la pieza al aplicar la carga que se transmite, en la zona más afectada la deformación es de un milímetro, lo cual es poco para el tipo de aplicación, que tiene este diseño, la deformación está respaldada por el análisis del límite de fluencia que se presento en la grafica anterior.

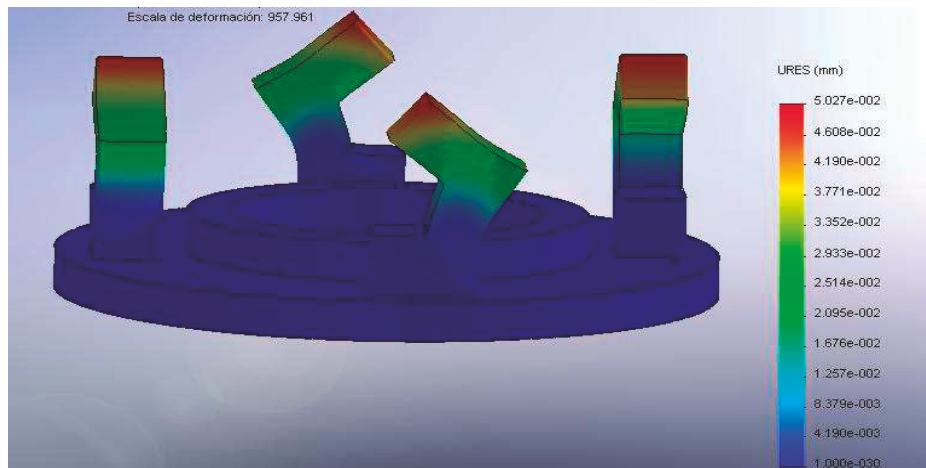


Ilustración 38 Base y unión al molino



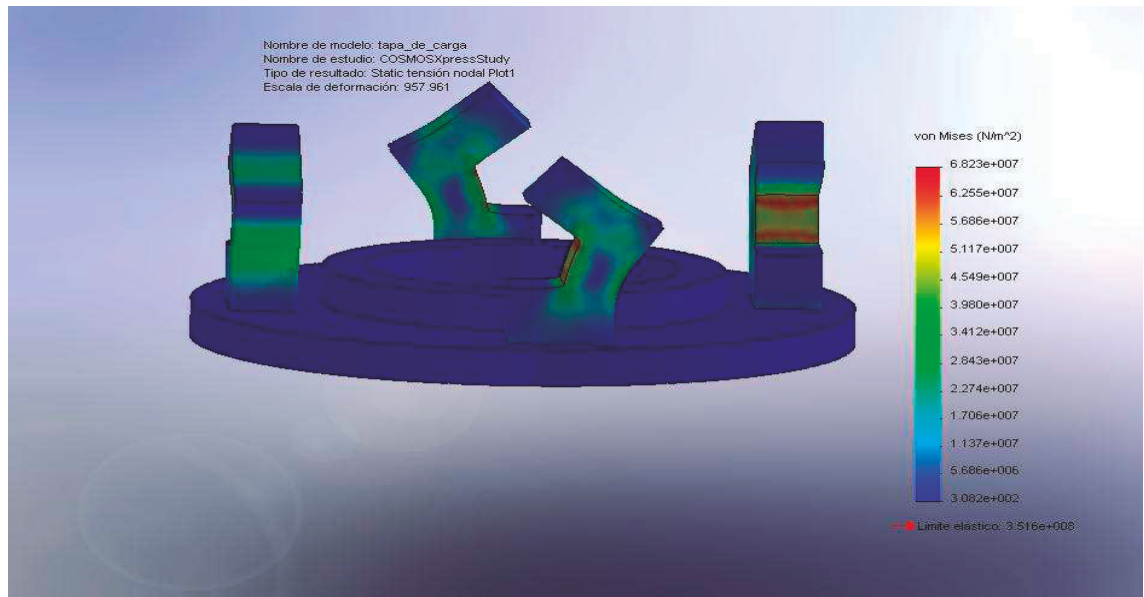
Este elemento asumirá la fijación que tendrá la araña contra la tapa del molino de bolas, y todas las cargas que sufre el elemento araña se transmiten al molino por medio de esta base, Es muy importante reiterar que este es un elemento rígido que sirve de tope al momento de realizar el sello de la tapa

Ilustración 39 Análisis de desplazamiento estático.



En la ilustración 39 se puede observar el desplazamiento estático que tiene la pieza el cual en sus puntos más críticos es de 0.05 mm lo cual indica que la pieza es muy rígida y confiable pues podrá asumir las fuerzas sin ningún inconveniente.

#### Ilustración 40 Análisis límite de fluencia.



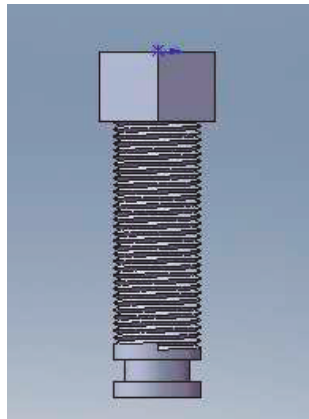
En la ilustración 40 se observa una grafica que muestra la distribución de esfuerzos comparados con el límite de fluencia del material, la carga mayor es muy inferior al límite de fluencia de un acero dúctil como lo es el 1020 afirmando un buen comportamiento de la estructura a las fuerzas a las que estará sometida.

### 7.3 CALCULO DEL TORNILLO QUE EJERCE LA PRESIÓN DE CIERRE

Para este análisis se tendrán en cuenta diferentes supuestos que sobrepasan la realidad con el fin de tener un diseño que responda a las exigencias del trabajo y que de un buen rendimiento en los fuertes ritmos de trabajo al que estará sometido el elemento rígido.

El tornillo que se analizara a continuación cumple la tarea de ejercer la fuerza de cierre en el sistema con el fin de evitar furas o pérdidas importantes de material,

Ilustración 41 Tornillo prensa.



Los cálculos que se realizarán se utilizarán con el fin de dimensionar el elemento no la forma más óptima de trabajo con respecto a sus propiedades físicas y a las fuerzas transmitidas si no con el fin de tener la dimensión mínima de trabajo.

El primer análisis que se hará está basado en el pandeo que puede sufrir el tornillo debido a la carga y su longitud que lo hacen trabajar como si fuera una columna. *(Todos los cálculos referenciados del tornillos se realizan de las memorias de cálculos de la materia diseño de máquinas dos específicamente del documento diseño prensa en C por Alberto Rodríguez)*

### 7.3.1 Análisis de carga crítica

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad \text{Formula general} \quad (7.4)$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad \text{Para cilindro} \quad (7.5)$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{F_{cr} L^2}{\pi^2 E I}} \quad \text{Diámetro} \quad (7.6)$$

$P_{cri}$  = Carga critica de diseño 7100 lb.

C = Factor de anclaje 0.25

L = Longitud 5in

$\sigma_y = 250$  Mpa

E = modulo de elasticidad  $30 \cdot 10^6$  psi

Reemplazando en (9.6) que ayuda a encontrar el diámetro para una carga critica y un valor especifico del modulo de elasticidad tenemos que

D = 0.47 in en comercio un tornillo de 0,5 In

Ahora es confirmado que la viga que se asumió con el diámetro que entrega el cálculo de  $P_{cri}$  cumple los estándares de esbeltez

$$\frac{L}{r} = \frac{L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{5}{\sqrt{\frac{\pi D^4}{64}} \sqrt{\frac{\pi D^2}{4}}} = 40 \quad (7.7)$$

En el caso de este cálculo la relación de esbeltez es 40 y por especificaciones del AISC fijan un límite para la relación de esbeltez de 200 con lo cual el cálculo esta dentro del rango sin embargo se confinará directamente con otra fórmula extraída (gere, 2002)

$$\frac{L}{r} = \frac{L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{5}{\sqrt{\frac{\pi D^4}{64}} \sqrt{\frac{\pi D^2}{4}}} = 40 \quad (7.8)$$

Lo cual quiere decir que para ese tipo de viga de sección circular el máximo factor de esbeltez debe tener un valor de 125 y el cálculo anterior solo alcanza un valor de 40 lo cual ratifica que el cálculo se encuentra dentro de un buen rango de seguridad.

Ahora se encontrará la expresión que ayudará a encontrar el momento torsor máximo traducido a la fuerza que necesita desplazar y el factor de fricción entre metal-metal

[illegible]

Fuerza ergonómica  $F_e = 60\text{lb}$

Fuerza de apriete  $W = 7100 \text{ lb}$

## Geometría del tornillo

Diámetro nominal  $D = 0.5 \text{ in}$

Altura de la rosca  $h = 0.05$  in

Paso  $P=1/10$

Diámetro medio  $D_m = 0.47$

Angulo del flanco de la rosca =  $\approx 4.05$  grados

Angulo de la hélice  $\alpha = 4.05$  grados

Fricción  $\mu = 0.18$

Reemplazando los valores en la formula tenemos el que

☐ ☐   ☐☐☐☐ ☒☐☐ ☒☒ ☐☐

Con este resultado y la fuerza ergonómica humana tenemos que la palanca para el sistema debe ser de 9.827 in esto garantiza que el tonillo puede ejercer una fuerza de 7100 lb con un momento torsor de 589.66 lb-in actuando en una palanca 9 in de largo



## 8 PROCEDIMIENTO DE CARGUE Y DESCARGUE DEL MOLINO DE BOLAS

Lo primero que se tiene en cuenta al momento de hacer un procedimiento de carga o descarga de un molino de bolas es tener conciencia y estar enterado de los posibles riesgos que incurre operar una máquina de este tipo.

Los errores más comunes presenciados en la operación de la maquinaria ocurren por faltas de atención graves por parte de los operarios, es importante tener en cuenta que el operario de la máquina debe ser una persona muy atenta que no solo se dedique a cargar y descargar cierta cantidad de material, sino que se interrelacione con la máquina ya que el operario sabe mucho mas de la máquina que el personal de mantenimiento.

El sistema de carga y descarga que se quiere implantar en el molino de bolas busca mejorar los tiempos perdidos, que se tienen en las moliendas debido a que la carga y descarga están ubicadas en el mismo lugar como se puede ver en la imagen, esto hace que el molino sea descargado en la posición inferior, y en el momento de realizar la carga de nuevo lo deben hacer girar con la finalidad de que su boca quede en la parte superior de la plataforma para poder ingresar la materia prima en su interior.

Ilustración 42 Tapa molino Senco colombiana S.A.



#### 8.1.1 Posibles inconvenientes al cargar:

- Es complicado cerrar el tapón de 6 in.
- El material a insertar en el molino puede ser complicado de cargar.
- No es fácil ubicar la boca del molino en la parte superior del mismo.
- El tapón es muy pesado.

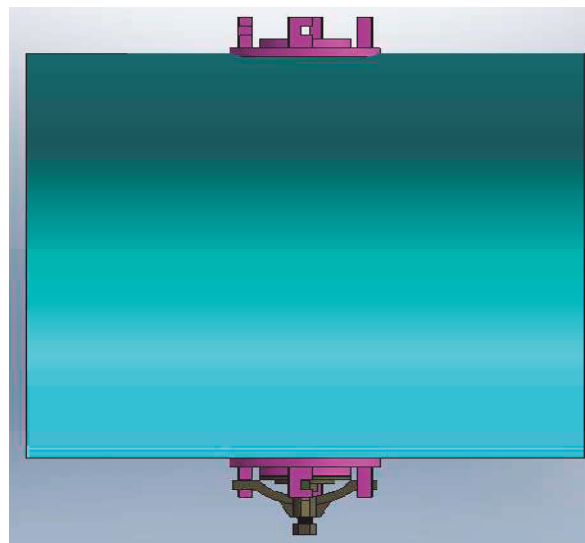
#### 8.1.2 Posibles inconvenientes al descargar:

- La tapa de descarga no despresuriza de una forma segura
- En el proceso de descarga las bolas del interior del molino se salen
- No es fácil ubicar la boca del molino en la parte inferior del mismo.
- La tapa puede aporrear los operarios debido a la forma en que la manipulan al momento de realizar la descarga.

### 8.2 PROPUESTA DE CARGA Y DESCARGA DEL NUEVO DISEÑO.

Con el nuevo diseño de la tapa del molino de bolas se busca hacer la carga y la descarga sin la necesidad de estar girando la máquina, la funcionalidad de este sistema nuevo es que se ahorrará tiempo en los procesos y será mas seguro para los operarios de las máquinas el cargar y descargar el molino de bolas.

Ilustración 43 Ubicación de tapas en el molino.





Como se ve en la ilustración 43 el molino tiene dos tapas una en la parte superior y otra en la inferior, las dos tapas pueden cumplir la tarea de carga o descarga el molino, el área de preparación pasta ya tiene tiempos de molienda establecidos con la finalidad de estandarizar la producción, 9 horas para la molienda de arcillas y 13 horas para la molienda de esmaltes.

### 8.3 PASOS A SEGUIR PARA LA CARGA O DESCARGA DEL MOLINO

2

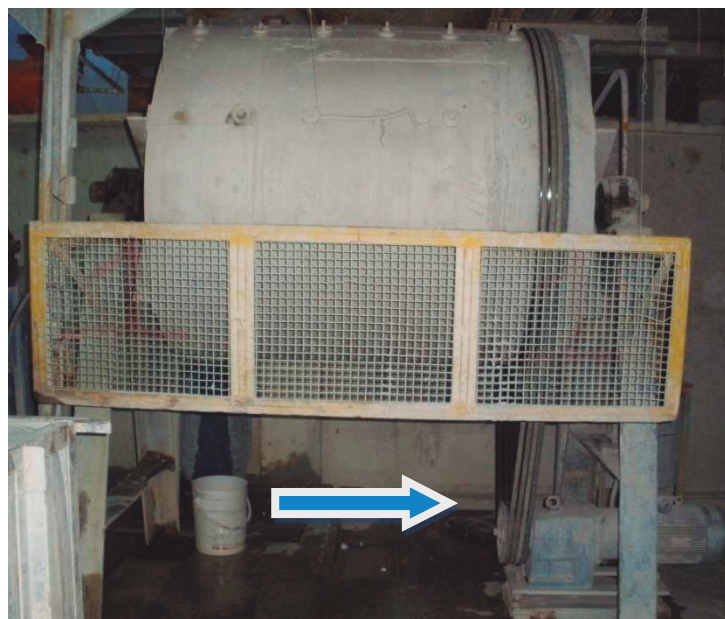
#### 8.3.1 Primero

Transcurrido el tiempo de molienda se debe detener la máquina asegurando que la boca de las tapas quede en buena posición para realizar la descarga.

#### 8.3.2 Segundo

Garantizar estabilidad en la máquina bloqueando la posición de descarga para evitar un movimiento inesperado

Ilustración 44 Ubicación cuña caucho natural.

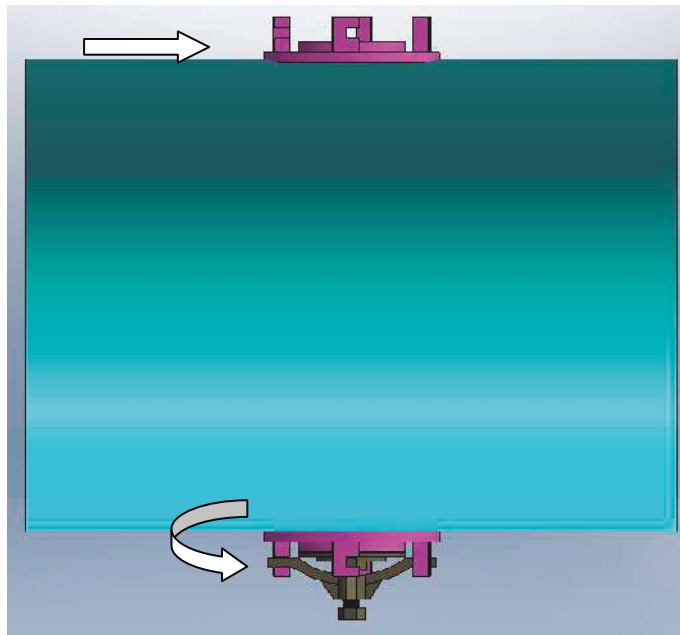


Esto se hace insertando una cuña de caucho natural entre la polea del reductor y las bandas del molino en el lugar donde está la flecha.

### 8.3.3 Tercero:

Gire lentamente el tornillo que tiene la tapa se perderá el sello que hay entre la tapa y el molino dejando salir el liquido que hay en su interior, la poca presión que hay dentro del molino hace que el liquido salga rápidamente, el resto del material se descargará por gravedad ya que la tapa que está en la parte superior también se deberá abrir retirándola por completo con el fin de que el aire entre dentro del molino

Ilustración 45 Ubicación nuevo sistema de descarga.



### 8.3.4 Cuarto:

El molino ya está descargado, ahora se deberá cargar de nuevo el molino, cierre el tornillo hasta que la fuerza se lo permita, y con la ayuda de un embudo haga la carga del molino agregando la materia prima en su interior.

### 8.3.5 Quinto:

Cierre de nuevo el molino con la tapa superior, retire la cuña que se encuentra entre las bandas del molino y la polea del reductor.

### 8.3.6 Sexto:

Comience de nuevo la marcha del molino y espere de nuevo para realizar el descargue de la máquina

El manual que se está teniendo en cuenta mejora los tiempos perdidos de la máquina debido a que todos los procedimientos que se le realizan al molino no requieren procesos adicionales, la carga y la descarga se realizan en la misma posición y las piezas de desgaste del nuevo diseño se cambian rápidamente garantizando que la maquina no se detendrá en su procesos productivo.

## 9 CONCLUSIONES

- El desarrollo integro de este proyecto de grado se da gracias a la colaboración de la empresa Senco Colombiana S.A. ya que sin la información que se ha recaudado a lo largo del tiempo sería imposible detectar las fallas mas reiterativas en los molinos de bolas.
- El desarrollo de este proyecto de grado dio a conocer los diferentes elementos que componen un molino de bolas, entregando información importante que ayudar a evaluar el plan de mantenimiento que se realiza en la maquinaria.
- El diseño del sistemas de tapas para el cargue y descargue del molino de bolas concluyó en un elemento estructural diseñado para aguantar el trabajo pesado y el ambiente fuerte que se maneja en planta.
- La geometría de las piezas diseñadas aunque son complejas se pueden fabricar fácilmente en máquinas de corte por hilo, pantógrafo, o laser según sea el acabado que el cliente final requiera.
- El plan de mantenimiento que se desarrollo en Senco Colombiana S.A. arrojó muy buenos resultados ya que se detectaron fallas que son constantes en el tiempo.
- El proceso de diseño que se realizó en los elementos que componen la estructura fue satisfactorio ya que concluyó de manera eficaz en piezas ajustadas a las cargas requeridas.
- El área de producción tendrá grandes beneficios con el nuevo sistema de cara y descarga de los molinos de bolas ya que los tiempos muertos en los molinos de bolas disminuirán.

## 10 GLOSARIO

Barbotina: fina suspensión de arcillas disueltas en agua.

Cerámica: elemento clasificado como no ferroso y aislante térmico

Moltrante: elemento de alta dureza utilizado para triturar.

Caucho virgen: es el caucho que no ha tenido ningún proceso de vulcanizado

EP2: tipo de lubricante de extrema presión.

Alúmina: es el resultado de la oxidación del aluminio.

Sobrecalentar. Término ingenieril para dar a conocer exceso de temperatura.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

Askeland, D. R. (2004 pag 626). Ciencia e ingeniería de los materiales. In D. R. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales* (p. 1005). Mexico: Thomson. ISBN 970-686-361-3

Bedford. (1996 pag 488). *estática mecánica para ingeniería*. Mexico: Addison Wesley. ISBN 968-444-398-6

Cruz, E. B. (2005 pág 24, enero 01). *sergeomin*. Retrieved 03 12, 2009, from sergeomin:

Flanagan, G. T. (1990). marine boilers. In G. T. Flanagan, *marine boilers* (p. 128). Butterworth-Heinemann. ISBN 0 7506 1821 3

Gere, J. M. (2002). *mecánica de materiales*. Mexico: Thomson .

Güeto, J. M. (2005 pag 244). Tecnología de los materiales cerámicos. In J. M. Güeto, *Tecnología de los materiales cerámicos* (p. 349). España: Díaz de Santos. ISBN 84-7978-722-8

Mott, R. L. diseño de elementos de máquinas . In R. L. Mott, *tipos de transmisiones por bandas* (p. 268\_872). Mexico: Pearson. ISBN 970 26 0812 0

Robert L Mott, V. G. (2006 ). *diseño de elementos de máquinas* . Mexico: Pearson Educación. ISBN 970 26 0812 0

Rodríguez, A. (2003). artefactos diseño conceptual. In *artefactos diseño conceptual* . Medellín: Leticia Bernal V. ISBN 958-8173-31-

SKF Group. (2005, 01 01). *SFK*. Retrieved 07 4, 2009, from [http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=en&newlink=1\\_6\\_1](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=en&newlink=1_6_1)

Solimar. (2007, enero 01). *solimarpneumatics*. Retrieved 03 8, 2009, from solimarpneumatics: <http://www.solimarpneumatics.com/transportation-products.html>

Xieta. (2005, enero 01). *Xieta International S.L.* Retrieved enero 10, 2009, from Xieta International S.L: [http://www.xieta.com/esp/bolas\\_esp.htm](http://www.xieta.com/esp/bolas_esp.htm)

Rexon Canadian Premium Gold . (2004, 01 01). *manual técnico rexon*. Retrieved 08 05, 2009, from rexon: [www.rexon.com.br](http://www.rexon.com.br)

prodelca, s. l. (2004, agosto 20). *protecciones del caucho* . Retrieved abril 10, 2009, from protecciones del caucho : <http://www.apamys.com/>

NORD. (2004, par 25, agosto 19). *nord*. Retrieved 03 10, 2009, from nord: [www2.nord.com/cms/media/documents/bw/B2000\\_ES\\_2308.pdf](http://www2.nord.com/cms/media/documents/bw/B2000_ES_2308.pdf)

kanappco. (2002, 04 02). *www.kanappco.com*. Retrieved 07 09, 2009, from <http://www.suresealinc.com/>

Metso. (2008 pag 3, enero 01). *Metsopaper*. Retrieved 03 10, 2009, from <http://www.metsopaper.com/>

Cepsa lubricantes SA. (2006, 11 1). *CEPSA*. Retrieved 7 3, 2009, from [http://www.cepsa.com/productos/doc/productos/ht\\_mobilux\\_ep\\_2.pdf](http://www.cepsa.com/productos/doc/productos/ht_mobilux_ep_2.pdf)

Commercial Metal Forming. (2007, 01 01). *cmforming*. Retrieved 09 15, 2009, from <http://www.cmforming.com/>

Concauchos S.A. (2009). *poriedades del caucho natural*. medellin: concauchos S.A.

## 12 ANEXOS

ANEXO 1

ENSAMBLE

ANEXO 2

ARAÑA

ANEXO 3

TAPA DE CARGA

ANEXO 4

TORNILLO

ANEXO 5

BASES SELLO

ANEXO 6

SELLO